

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh tlumeného a dálkového reflektoru světlometu

Design of Low and High beam Headlamp Reflector

Student:
Vedoucí diplomové práce:

Bc. Jindřich Kostelný
Dr. Ing. Anna Plchová

Ostrava 2014

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jindřich Kostelný

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jarcová 253, Valašské Meziříčí 757 01

Anotace bakalářské práce

KOSTELNÝ, J. *Návrh tlumeného a dálkového reflektoru světlometu: diplomová práce*, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2014, 65 s. Vedoucí práce: Dr. Ing. Plchová, A.

Diplomová práce se zabývá návrhem reflektoru pro tlumené a dálkové světlo, které je součástí předního světlometu vozidla TOYOTA. Obsahem řešerše jsou různá technická řešení světlometů v praxi. Hlavní části práce jsou dvě. První je vývoj dílu reflektoru a jeho zástavba do tělesa světlometu. Druhou částí je problematika lakování reflektoru a případné úpravy dílu pro optimalizaci lakování.

KOSTELNÝ, J. *Design of Low and High beam Headlamp Reflector: Thesis*, Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2014, 65 p. Thesis head: Dr. Ing. Plchová, A.

This thesis is dealing with a design of a reflector for low and high beam, which is part of the TOYOTA car's headlamp. Research consist of various technical solutions for headlamps in practical use. There are two main parts of the thesis. First one is development of reflector itself and fixing it into body of headlamp. Second part of thesis deals with coating of reflector and possible modifications for optimization of coating.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat firmě Varroc Lighting Systems – Nový Jičín a zejména vedoucímu vývojového týmu skupiny PSA Ing. Pavlu Tůmovi za to, že mi umožnil pracovat na tomto velmi zajímavém zadání diplomové práce a poskytl mi k tomu maximální podporu. V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat celému vývojovému týmu za jejich cenné rady, ochotu a pomoc.

Seznam použitých symbolů a značek

a	Tloušťka žebra	[mm]
D	Průměr	[mm]
D_i	Střední vnitřní průměr nálitku	[mm]
D_K	Vstupní průměr lůžka kulového čepu	[mm]
$D_{patn.}$	Patní průměr nálitku	[mm]
E	Intenzita osvětlení	[lx]
E	Modul pružnosti	[GPa]
F	Síla	[N]
$H_{nosn.}$	Nosná výška nálitku	[mm]
$H_{celk..}$	Celková (minimální) výška nálitku	[mm]
L	Délka závitu v nálitku	[mm]
m	Hmotnost	[kg]
s	Tloušťka stěny bracketu	[mm]
$T, T_{max.}, T_{dovol.}$	Teplota	[°C]
ρ	Hustota	[g/cm ³]
HB	High Beam – Dálkové světlo	
LB	Low Beam – Tlumené světlo	

0 Obsah

0	Obsah	5
1	Úvod.....	6
1.1	Cíle práce	6
1.2	Terminologie.....	7
1.3	Evropské normy pro osvětlovací techniku vozidel.....	7
2	Světlomety	8
2.1	Typy světlometů	10
2.1.1	Parabolický reflektor s optikou na skle.....	10
2.1.2	Reflektorová optika - Free – Form	12
2.1.3	Projekční optika - DE modul	13
2.1.3.1	DE modul s jednou funkcí	14
2.1.3.2	Bi-Xenonové DE moduly	14
2.1.4	Adaptive Frontlighting System – AFS.....	15
3	Vývoj reflektoru.....	16
3.1	Koncepční řešení reflektoru.....	16
3.2	Problematika vývoje reflektorů	16
3.2.1	Vliv stylistů na vývoj.....	17
3.2.2	Vliv optiků na vývoj a optické simulace	17
3.2.3	Konstrukční simulace a Metoda konečných prvků při vývoji reflektoru	18
3.3	Upevnění reflektoru do tělesa světlometu	20
3.3.1	Zásady pro upevnění reflektoru do tělesa světlometu	20
3.3.2	Kinematika reflektoru	20
3.3.3	Kloubové vazby	21
3.3.4	Nosná konzola reflektoru – bracket	25
3.3.4.1	Vývoj tvaru bracektu	26
3.3.4.2	Dělicí rovina a zaformovatelnost bracketu	30
3.3.4.3	Umístění bracketu na reflektoru	31
3.4	Konstrukční řešení reflektoru LB a HB	32
3.4.1	Volba materiálu pro reflektor	32
3.4.2	Popis a charakteristiky jednotlivých částí reflektoru a jeho příslušenství ..	33
3.4.2.1	Žárovky a jejich upevnění do reflektoru	34
	35
	Rozvržení zadní části reflektoru	41
3.4.2.2	Výpočet parametrů nálitku pro šroubové spojení reflektoru a bracketu..	42
3.4.3	Postup návrhu reflektoru.....	44
3.4.3.1	Postup tvorby 3D modelu reflektoru	44
3.4.3.2	Vývoj jednotlivých variant reflektoru.....	46
3.4.3.3	Verze 010	52
4	Lakování reflektoru.....	54
4.1	Technologie lakování.....	54
4.2	Objímka pro Easyfit H7	55
4.2.1	Hypotéza o vlivu nerovnoměrnosti lakování objímky – výpočet.....	56
4.3	Řešení problému s lakováním v oblasti objímky Easyfit H7.....	60
4.3.1	Verze C	60
4.3.2	Verze D	61
5	Závěr	63
6	Použitá literatura a zdroje	64
7	Seznam příloh	65

1 Úvod

V dnešní době je každé motorové vozidlo určené pro provoz na veřejných komunikacích vybaveno osvětlovací technikou, která v průběhu desetiletí zaznamenala značný pokrok. Od původních jednoduchých světlometů s parabolickým reflektorem se vývoj díky novým výrobním a konstrukčním možnostem posunul až k nejmodernějšímu systému AFS, u kterého jsou paprsky světla usměrňovány elektronikou v závislosti na zatáčení a rychlosti vozidla.

Tato práce se zabývá vývojem v podstatě nejdůležitější funkční části předního světlometu, a to reflektoru tlumeného a dálkového světla pro nový automobil značky TOYOTA (vývoj světlometu zajišťuje výrobce Varroc Lighting Systems – Nový Jičín).

V rešerši je uvedena současná situace a použití různých technologií u automobilové osvětlovací techniky. Po ní následuje už samotný popis problematiky vývoje reflektoru, jeho návrhy a řešení. Práce se zejména zaměřuje na upevnění reflektoru do tělesa světlometu, vývoj samotného tvaru reflektoru, zmiňuje různá úskalí, která se během vývoje vyskytla a popisuje způsob jejich řešení. Poslední kapitola je zaměřena na lakování reflektoru v oblasti uchycení žárovek. Popisuje a navrhuje řešení problému s lakováním, který se vyskytl u předchozích projektů dlouholetého výrobce osvětlovací automobilové techniky firmy Varroc Lighting Systems – Nový Jičín (předtím Autopal, posléze Visteon).

1.1 Cíle práce

- Pracovat na vývoji reflektoru tlumeného a dálkového světla pro firmu Varroc Lighting Systems – Nový Jičín.
- Popsat problematiku vývoje reflektoru a specifika jednotlivých částí reflektoru.
- Reflektor a jeho příslušenství musí splňovat všechny předepsané normy, předpisy nebo požadavky zákazníka.
- Upevnění reflektoru do tělesa světlometu musí být uskutečněno pomocí seřizovacího zařízení pro korekci směru svícení.
- Navrhnout tvar reflektoru tak, aby bylo dosaženo bezproblémového lakování.
- Využívat standardní díly firmy Varroc Lighting Systems.

1.2 Terminologie

Světlomet – je zařízení, které je konstruované k osvětlení vozovky. Je výkonnější než svítilna a obsahuje:

tlumené světlo – nebo také ***potkávací světlo***, slouží k osvětlení vozovky před vozidlem, ale zároveň má takový výkon, aby nepříjemně neoslňovalo řidiče vozidel přijíždějících z opačného směru, nebo jiné uživatele vozovky. Pro označení v textu používám také zkratku LB – Low Beam.

dálkové světlo – slouží k osvětlování vozovky na velkou vzdálenost před vozidlem. Pro označení v textu používám také zkratku HB – High Beam.

světlomet do mlhy – tzv. “*mlhovka*“, je určena ke zlepšení osvětlení vozovky a zvýraznění polohy vozidla za zhoršených nepříznivých podmínek, jako je mlha, sněžení, bouřka nebo mračna prachu.

Svítilna – je zařízení k vysílání světleného signálu ostatním uživatelům silnice.

směrová svítilna – slouží k informaci pro ostatní uživatele silnice, že řidič vozidla chce měnit směr jízdy.

denní svítilna – směřuje dopředu a činí vozidlo snadněji viditelné za jízdy ve dne.

obrysová svítilna – používá se k označení přítomnosti vozidla a jeho šířky.

1.3 Evropské normy pro osvětlovací techniku vozidel

EHK R6 – ukazatel směru

EHK R19 – přední mlhový světlo

EHK R37 – žárovky

EHK R48 – instalace světelné techniky na voze

EHK R87 – denní svítilna

EHK R119 – rohový světlo = corner

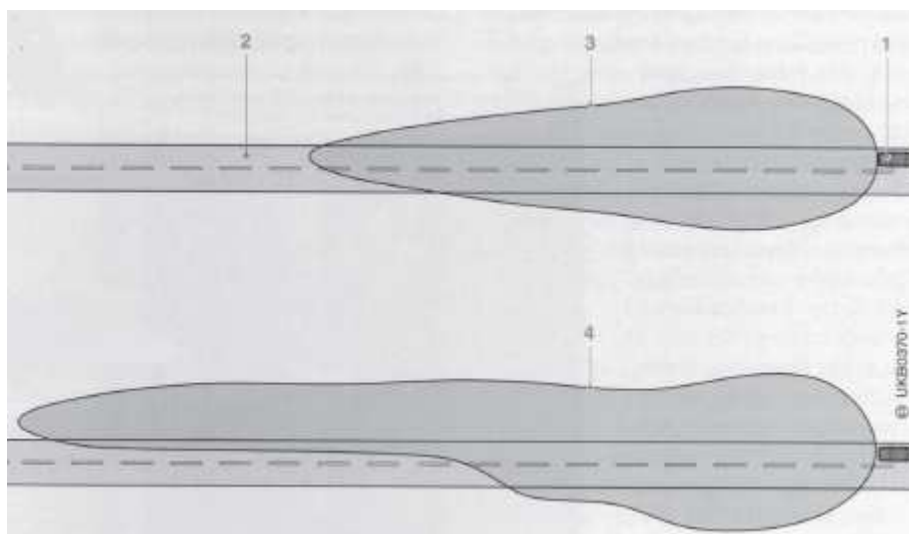
EHK R123 – AFS světla

2 Světlomety

Světlomety je vybaveno každé vozidlo, které je určeno k využívání v silničním provozu. Slouží k osvětlování vozovky za jízdy.

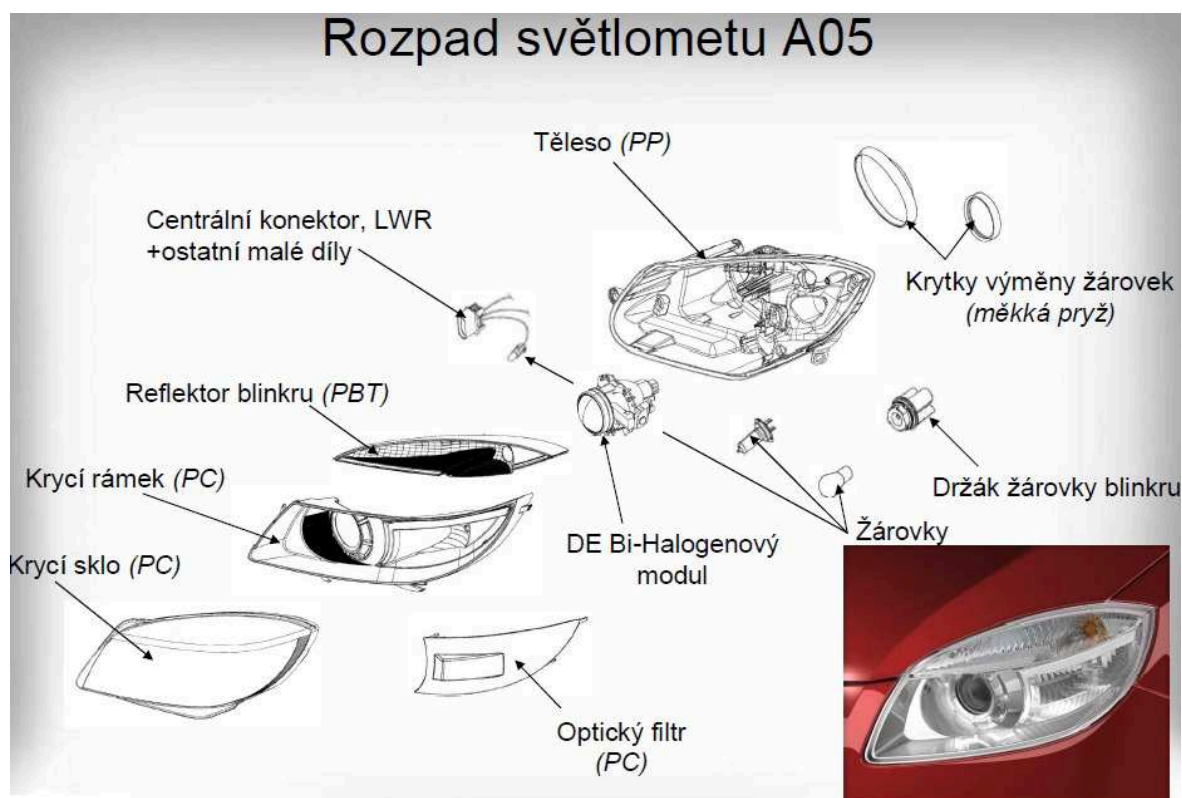
Světlomet se skládá z mnoha komponentů v závislosti na typu a určení. Příkladové rozpadové schéma je na Obrázku 2. V dalších kapitolách se budu zabývat především reflektory, žárovkami a jejich montážními prvky. Samotný moderní světlomet je poměrně složitý prvek vozidla, jehož vývoj, konstrukce a výroba je náročný proces. Ovlivňuje také konečný design vozidla.

Při konstrukci světlometů se musí taktéž dbát na oslnění protijedoucích vozidel. Světlo bývá usměrňováno pouze do vlastního jízdního pruhu na vozovce. Toho se docílí tvarem optiky na čelním skle, tvarem fazet na reflektoru nebo mechanickými clonkami v DE modulech. Moderní typy světlometů s technologií AFS jsou schopny měnit intenzitu osvětlení v závislosti na rychlosti automobilu, nebo měnit směr svícení při zatáčení vozidla.



Obr.1 – Rozložení světla vycházející z automobilu. Vrchní varianta je symetrické svícení světlometů vozidla, které je nevýhodné z hlediska výkonu, nedostatečného osvětlení chodců a oslnování protijedoucích vozidel. Od 60. let se využívá asymetrického svícení. Rozložení světla je lepší. Moderní AFS systémy dokáží tvar osvětlujícího „kuželu“ měnit v závislosti na potřebě řidiče.[1]

Světlomety bývají konstruovány na požadavky zákazníka, resp. země, kde budou využívány. Proto se musí dbát na to, jak je provoz na komunikacích veden, resp. jestli na pravé nebo levé straně vozovky. Velkou výhodou je v tomto systém AFS, který si režim svícení upravuje elektronicky.



Obr.2 - Na obrázku je znázorněn schematický rozpad světlometu typu A05 (Škoda Fabia). Jak lze rozpoznat ze schématu, jedná se o světlomet s DE Bi-halogenovým modulem.[2]

Diagram č.1 znázorňuje rozdělení světlometů z hlediska použitých světelných zdrojů. Zvýrazněná cesta v diagramu vede k typu reflektoru a žárovek, které budu v této práci řešit. Má verze světlometu je tedy typu FF (free – form), vícekomorová, resp. dvoukomorová (dálkové a tlumené světlo). Komora pro tlumené světlo je vybavena halogenovou žárovkou H7, komora pro dálkové světlo halogenovou žárovkou H1.

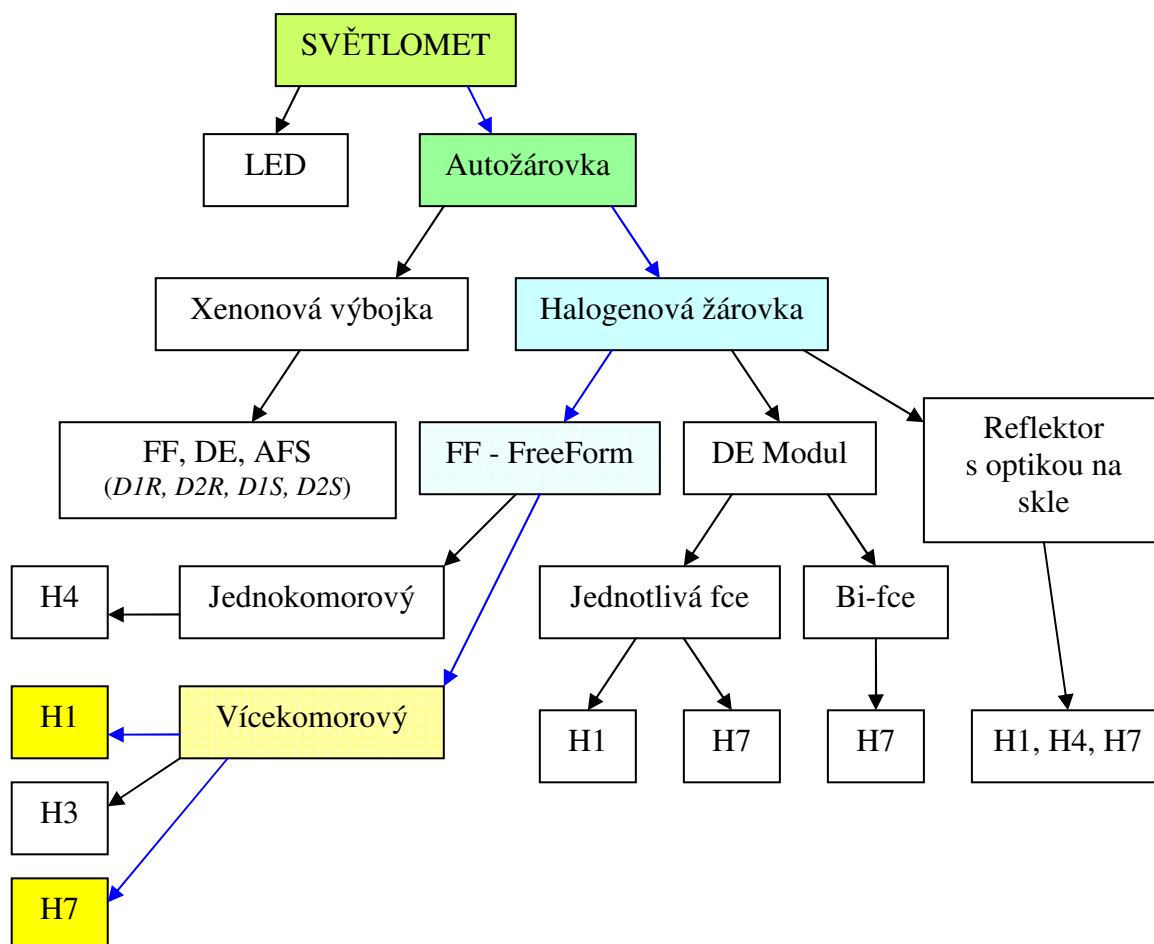


Diagram č.1 – Rozdělení světlometů.

2.1 Typy světlometů

Jak již znázorňuje Diagram č.1, rozdělujeme několik typů světlometů, a to paraboloidní reflektor s optikou na skle, s free – form reflektory, světlomet s DE modulem a AFS (Adaptive Frontlighting System).

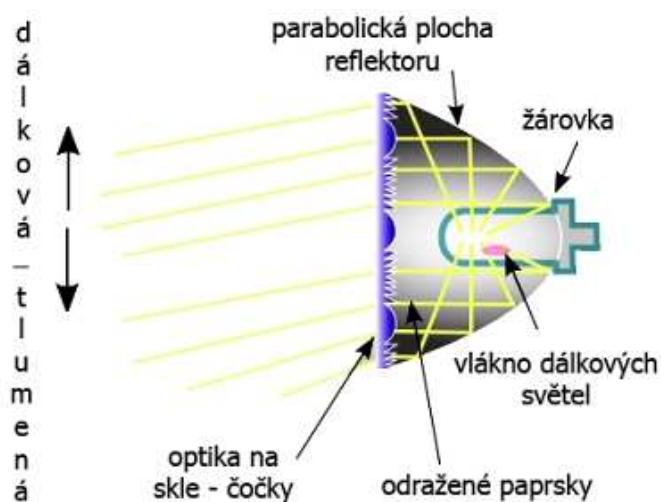
Každý světlomet je vybaven reflektorem, který může být založen na několika principech. V následujících kapitolách je uvedeno rozdělení světlometů dle použitých reflektorů.

2.1.1 Parabolický reflektor s optikou na skle

Reflektor má tvar paraboloidního zrcadla, má hladký pokovený povrch a usměrnění paprsků světla probíhá až v krycí čočce (skle), na kterém jsou optické elementy. Lom a následné usměrňování světla tedy probíhá na krycím skle, které plní funkci čočky. Světelný zdroj, čili žárovka, je umístěna v ohnisku paraboloidu. Jedná se o zastaralý

typ, který se u moderních světlometů používá už jen zřídka, nebo u automobilů nízké cenové kategorie.

Na Obr.3 je patrný systém usměrnění světla pomocí množství čoček, které tvoří krycí sklo světlometu. Z konstrukčního hlediska je zde parabolický reflektor jednodušší díl, než krycí sklo. Je tvořen pouze hladkou pokovenou plochou paraboloidu s jedním ohniskem. Kdežto krycí sklo je tvarově velmi složité. Musí se pamatovat i na clonění paprsků, aby nedocházelo k osvětlování např. protijedoucích vozidel. Od tohoto řešení se v dnešní době upouští, protože nedává stylistům takové možnosti z hlediska designu – přes sklo není tak dobře vidět na vnitřní díly, zejména na krycí rámeček. Ten je například jeden z hlavních stylových prvků světlometu moderních automobilů.



Obr.3 – Schéma šíření paprsků světla v parabolickém reflektoru.[3]



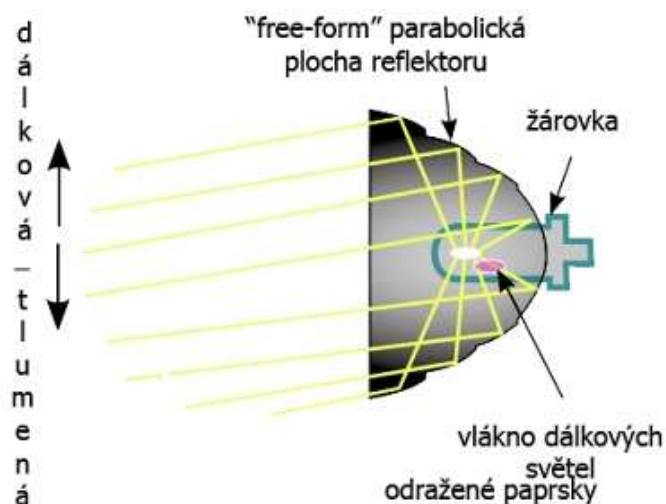
Obr.4 – Dvoukomorový světlomet s parabolickým reflektorem a optikou na skle automobilu Škoda Felicia.[3]

2.1.2 Reflektorová optika - Free – Form

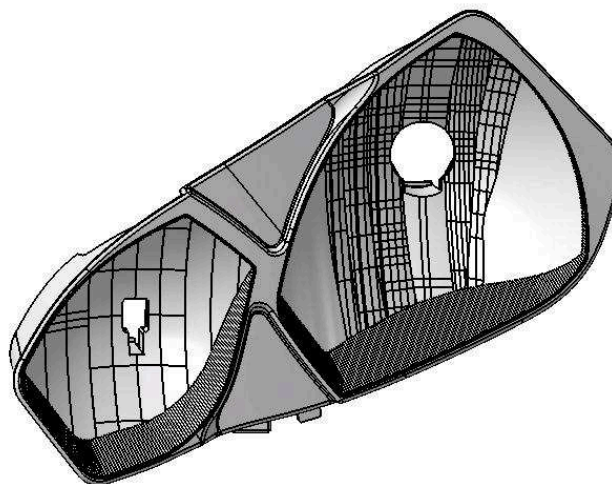
Technologie free-form je spojena s příchodem CNC obráběcích center a specializovaných software na optické výpočty. Používá se ve všech odvětvích optiky. Základem jsou počítačem vypočítané a navrhované plochy nebo čočky, které následně vyrobí CNC obráběcí centra. Jejich tvar je nepravidelný, přizpůsobený požadavkům na výrobek omezený pouze možnostmi CNC centra, které vyrobí formu pro vstřikovací lis nebo samotnou čočku v případě výroby např. čoček pro brýle.

U moderního automobilového osvětlení je free-form optika jedním z nejrozšířenějších řešení reflektoru ve světlometu. Principem jsou rozmístěné fazety po ploše reflektoru. Jejich rozmístění a tvar určuje výpočtový optický software. Mají takový tvar, kterým společně se svým umístěním na reflektoru odrážejí paprsky světla do požadovaného místa na vozovce. Na krycím skle se už tedy čočky nenachází, sklo je hladké. Materiály pro tyto typy reflektorů jsou různé, v mém případě se jedná o termoset BMC. Každopádně materiál reflektoru musí být teplotně odolný, protože je vystaven značnému teplotnímu zatížení od žárovky. Taktéž se musí počítat s faktorem pokovení a lakování povrchu reflektoru. Těmito technologickými operacemi se naruší navrhované ideální plochy z počítače. Problematika pokovení a lakování je popsána v Kapitole 4.

Free-Form technologie je aplikována i na reflektor z mého zadání. Jak je patrné na snímku pořízeném ze software CATIA V5 (Obr.6), povrchy obou komor reflektoru jsou tvořeny velkým množstvím malých fazet.



Obr.5 – Schéma šíření paprsků světla ve free-form reflektoru.[3]

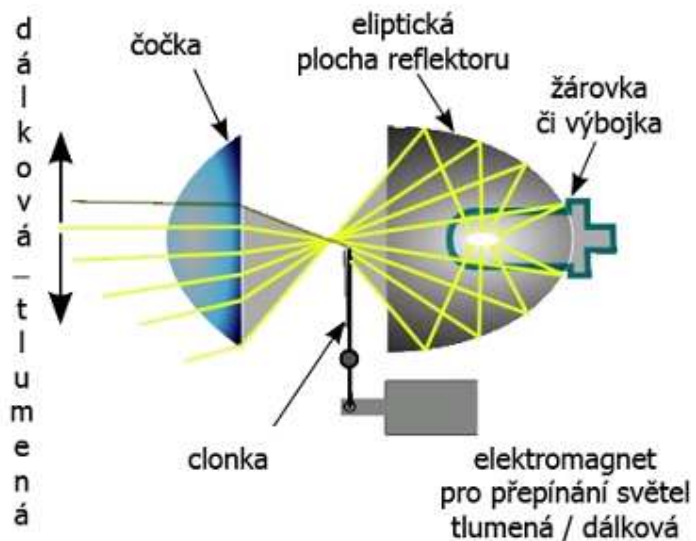


Obr.6 – Free-Form reflektor (reflektor ze zadání). Na obr. je patrné značné množství jednotlivých optických plošek.

2.1.3 Projekční optika - DE modul

Jedná se o světlomety s eliptickou projekční plochou. Emitované světlo z výbojky (halogenová nebo xenonová) se odráží a prochází skrz ohnisko čočky. Mezi odrazovou plochou reflektoru a čočkou je clonka, která upravuje tvar světla.

Modul projektorového světlometu může být fixní nebo jako bi-modul. Bi-modul znamená, že o přepínání mezi dálkovými a tlumenými světly se stará clonka ovládaná elektromagnetem. Krycí sklo je opět hladké bez optiky.[3]

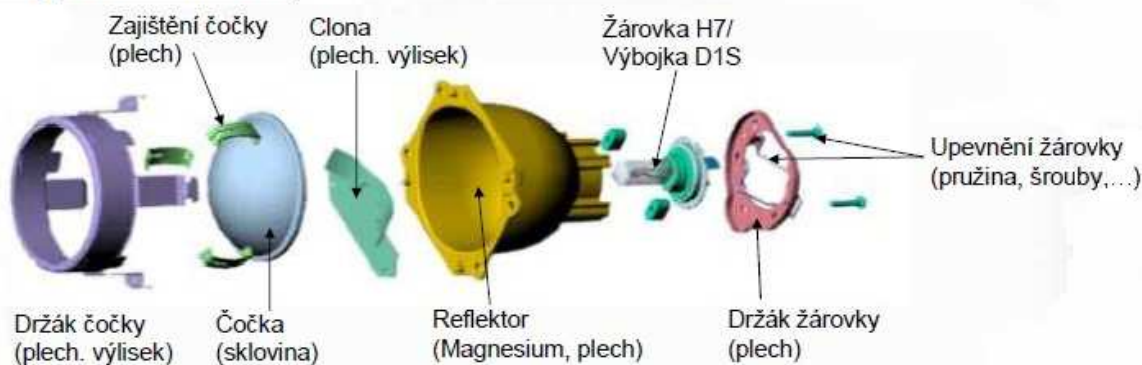


Obr.7 – Schéma šíření paprsků světla v projektoru.[3]

2.1.3.1 DE modul s jednou funkcí

DE moduly s jednou funkcí mohou vykonávat buď režim tlumeného světla, nebo dálkového. Clonku mají napevno, proto nelze v projektoru měnit režim svícení. Ve světlometu musí být proto obsažen druhý projektor nebo reflektor s opačnou funkcí.

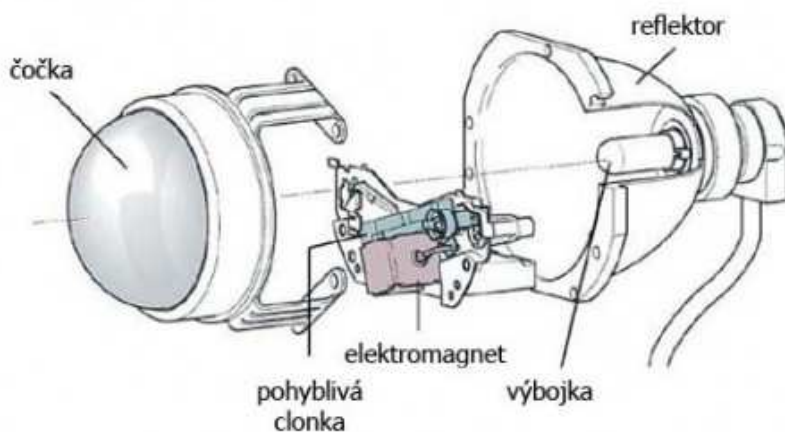
Rozpad DE modulu



Obr.8 – Schématický rozpad DE modulu s jednou funkcí.[2]

2.1.3.2 Bi-Xenonové DE moduly

Klasické xenonové světlometry mají xenonovou výbojku pouze pro tlumená světla, dálková světla obstarává klasická halogenová žárovka. Bi-Xenonové světlometry však mají možnost přepínání mezi tlumeným a dálkovým světlem. Nevýhodou xenonových světlometů je jistá časová prodleva při rozsvícení, proto nelze použít klasický způsob rozsvícení a zhasínání jednotlivých vláken jako je to u halogenových světlometů. U Bi-Xenonových světlometů je přepínání potkávacích a dálkových světel řešeno posouváním elektromagnetické clonky, čímž se šetří životnost výbojky. [3]



Obr.9 – Rozpadové schéma Bi-Xenonového modulu.[3]

2.1.4 Adaptive Frontlighting System – AFS

AFS – adaptivní světlometový systém je složen z několika individuálních světlených (optických) jednotek, z nichž každá vyzařuje specifický světelný svazek.

Činnost těchto jednotek (jejich zapnutí/vypnutí; horizontální či vertikální natočení; změna rozložení světelného svazku; apod.) je automaticky ovládána v závislosti na např.:

- rychlosti vozidla,
- úhlu natočení volantu,
- zapnutí/vypnutí směrových světlů,
- signálu navigačního systému, apod.

V průběhu jízdy mění se kombinací světelných svazků z jednotlivých jednotek je vytvářen optimální celkový světelný svazek.

Řidiči je tak poskytována maximální možná viditelnost dle momentálních jízdních a povětrnostních podmínek. [2]



Obr.10 – Funkce systému AFS. [2]

3 Vývoj reflektoru

3.1 Koncepční řešení reflektoru

Světlomety silničních vozidel většinou obsahují více různých reflektorů – pro tlumené, dálkové, poziční světlo a pro indikátory změny směru jízdy. Každý z reflektorů musí být určitým způsobem upevněn do světlometu. Z konstrukčního hlediska je každý světlomet jiný a využívá různých druhů upevnění reflektorů. Reflektory pro poziční světlo a pro indikátor změny směru jízdy bývají zpravidla upevněny fixně, protože u nich není potřeba seřizování a případné nastavování směru svícení. U tlumeného a dálkového světla je tomu ale jinak. U reflektorů tlumeného a dálkového světla je nutné umožnit korekci směru svícení naklápěním podle dvou os. V závislosti na typu řešení tlumeného a dálkového světla je potřeba vhodně zvolit upevnění reflektoru do světlometu v kombinaci se zařízením pro jeho korekci.

Navíc, když opomenou projekční optiku s DE moduly a systémy AFS, konstrukčních řešení reflektorů LB a HB (Low Beam a High Beam – tlumené a dálkové světlo) je několik:

- Dva samostatné reflektory pro LB a HB, z nichž každý je opatřen jinou žárovkou a jsou upevněny samostatně (mechanismus pro nastavení korekce by ale měl ovládat oba reflektory najednou pomocí spojovacích prvků).
- Jeden reflektor s jednou komorou pro LB i HB opatřený žárovkou např. H4, která umožňuje dva režimy svícení.
- Jeden reflektor s dvěma komorami s různými žárovkami (např. H1 a H7).

V případě tohoto projektu se po konzultaci se zákazníkem zvolilo řešení **jednoho dílu reflektoru se dvěma komorami**.

3.2 Problematika vývoje reflektorů

Při návrhu a konstrukci reflektoru existují značná omezení, např. legislativní vznikající předpisy norem, nebo konstrukční či fyzikální. Vzhledem k tomu, že na vývoji reflektoru se podílí několik vývojových kanceláří (designéři, konstruktéři, výpočtáři, optici, technologové apod.), je potřeba své nápady a řešení konstrukčních problémů konzultovat a často i podřizovat nadřazeným problémům jiných odborníků pracujících na stejném projektu.

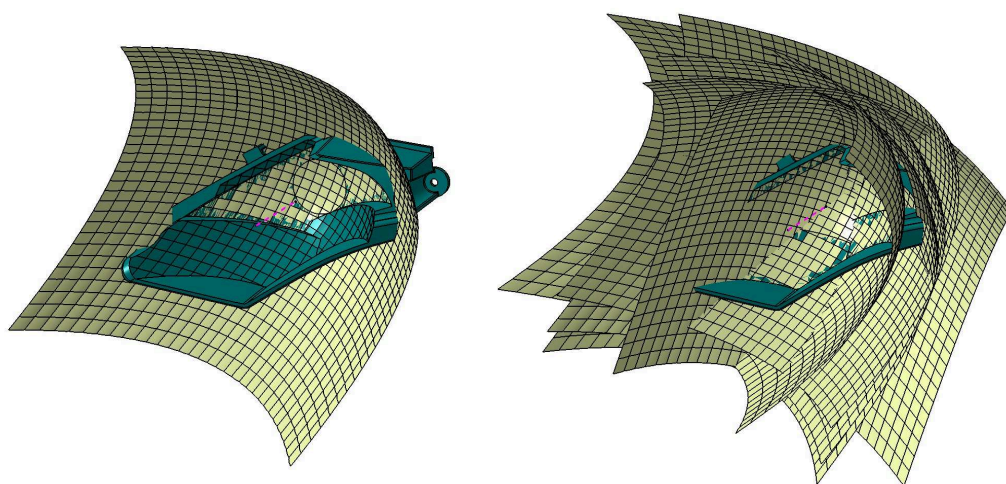
3.2.1 Vliv stylistů na vývoj

Poměrně významným faktorem, který ovlivňuje konstruktéra při vývoji reflektoru je vliv stylistů. Ti navrhují světlomet jako celek a tvoří specifický design. I když hlavními stylovými prvky na světlometu jsou krycí sklo, maska světlometu a další drobnější díly (jako optické svítící trubice apod.), reflektor také ovlivňuje celkový vzhled světlometu. Stylista určuje obecný tvar reflektoru – ovšem v praxi jsou první návrhy stylistů (nejen u reflektorů, ale všech stylových dílů) velmi daleko od uskutečnitelné a výrobitelné varianty. Stylisti jsou většinou spíše umělci, než technici a jejich návrhy jsou po vzájemné konzultaci s konstruktéry a optiky mnohokrát změněny a cesta k ideálnímu kompromisu, kdy budou všichni spokojeni, je velice dlouhá a plná ostrých jednání a připomínek ze všech stran.

V případě reflektoru vliv stylistů není tak markantní jako třeba u masky světlometu. Designér se musí podřídít nekompromisním zákonům optické fyziky.

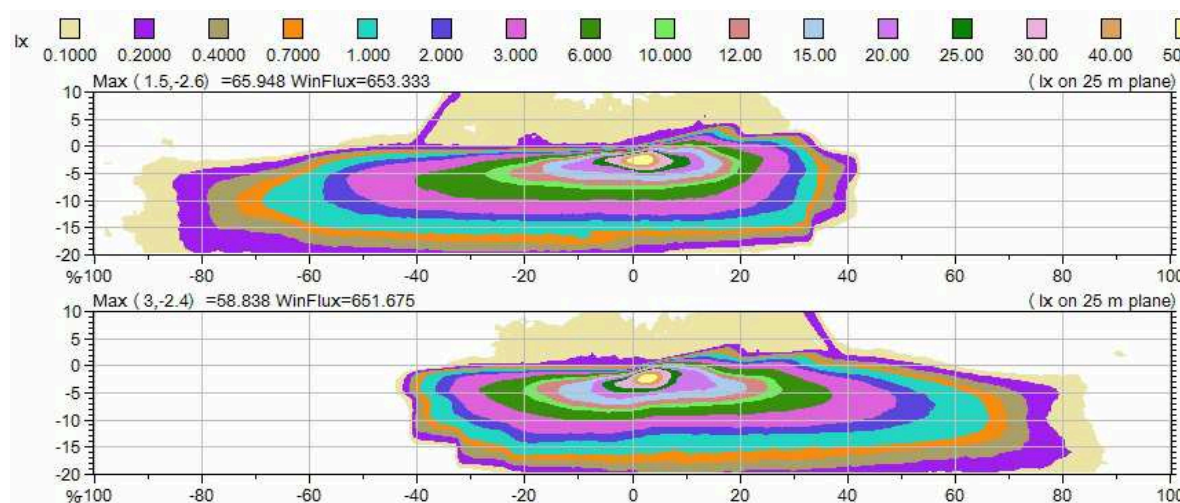
3.2.2 Vliv optiků na vývoj a optické simulace

Optikové jsou dalšími důležitými lidmi při vývoji reflektoru. Na kvalitě jejich práce záleží následné fotometrické vlastnosti světlometu. Ovlivňují tvar paraboly, resp. několika parabol reflektoru. Optik má k dispozici software, pomocí kterého generuje plochy optické části reflektoru. V dnešní době díky zmíněným specializovaným programům se nemusí limitovat na jednoduché paraboly, viz. kapitola 2.1.2 *Reflektorová optika – free-form*.



Obr.11 – Plochy paraboloidů vytvořené optikem. Za povšimnutí stojí fakt, že optické plochy reflektoru zobrazeného na obrázku (DRL) se skládají z několika parabolických ploch protínajících se navzájem.

Optické simulace – kromě návrhu optických ploch reflektoru se celý světlomet podrobí optické simulaci. Na Obr.12 a v Přílohách 1 a 2 jsou ukázky simulací, které nám ukáží rozložení světla vycházející ze světlometu. Samozřejmostí je i následná fotometrická zkouška na prototypu v optické laboratoři.



Obr.12 – Jedna ze simulace rozložení světla vycházejícího z komory reflektoru pro tlumené světlo dopadající na plochu vzdálenou 25m. Barevné plochy znázorňují intenzitu osvětlení, viz. legenda v horní části obrázku.

Vliv na optické vlastnosti světlometu nemá zdaleka jen samotný tvar paraboloidních ploch reflektoru, ale způsob lakování a pokovení reflektoru, tvar a tloušťka krycího skla, tvar krycího rámu světlometu apod.

3.2.3 Konstrukční simulace a Metoda konečných prvků při vývoji reflektoru

Nedílnou součástí vývoje nejen reflektoru jsou simulace, které nám pomáhají odhalit problémy a usnadňují nám jejich řešení. Jejich zásadním přínosem je zejména finanční a časová úspora vývoje projektu. Díky simulacím dokážeme určit kritická místa výrobku, která by se odhalila až při fyzických zkouškách na zkušebnách. Finanční a časová náročnost počítačových simulací je daleko levnější než výroba několika prototypů a jejich testy a zkoušení. Přesto se stává, že se při fyzických zkouškách odhalí nové problémy, se kterými se nepočítalo.

Druhů simulací, které se prováděly v rámci reflektoru, bylo několik. Používal se pro ně software ANSYS, Autodesk Simulation Moldflow, MKP modul pro CATIA V5 aj.

Tepelná simulace – žárovka při svícení vyzařuje značné množství tepla. Zejména materiál reflektoru bývá nepříznivě ovlivněn sálavým přenosem tepla z povrchu baňky žárovky. Díky výsledkům z tepelných simulací můžeme určit, zda nedojde k degradaci materiálu zasažených dílů (např. reflektor, krycí sklo apod.). Vliv tepla a jeho simulace pro reflektor LB a HB je zmíněn v kapitole 3.4.3.2 *Vývoj jednotlivých variant reflektoru*, kde jsou přesně popsány problémy, které vznikaly při vývoji reflektoru. Teplo mělo velký vliv na volbu materiálu pro reflektor.

Simulace vibrací světlometu – tato simulace se provádí pro odhalení vibrací ve světlometu. Při provozu motoru vznikají vibrace, které se přenášejí do celé konstrukce vozidla. Ty opět nepříznivě ovlivňují díly ve světlometu. Běžně dochází k rozkmitání některých částí dílů, které nejsou dostatečně vyztuženy, v extrémních případech může dojít dokonce k narušení struktury, či úplnému lomu materiálu. V normách a předpisech od zákazníka se vibracím věnuje pozornost. Zjednodušeně řečeno se požaduje, aby funkce a životnost světlometu nebyla výrazně ovlivněna vibracemi od motoru vozidla. Při návrhu reflektoru a dílů sloužících k jeho upevnění do světlometu se proto s vibracemi uvažuje. Jak je popsáno v kapitolách popisujících vývoj, vzhledem k výsledkům z vibračních simulací byl několikrát změněn bracket i reflektor.

MKP modul pro 3D CAD software CATIA V5 se využíval spíše okrajově. Posuzovaly se v něm různé plastové spojovací prvky (např. háčkové spoje), které jsou namáhány zejména na ohyb.

Moldflow analýza – při konstrukci se využívala k simulaci vstřikování materiálu do forem. Znázorňuje tok plastu dutinou formy. Optimalizuje také návrh produktu a minimalizuje možné problémy během výroby. Těchto analýz využívá zejména nástrojárna.

3.3 Upevnění reflektoru do tělesa světlometu

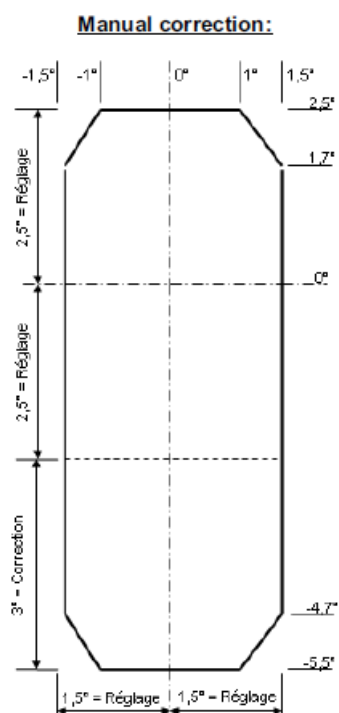
3.3.1 Zásady pro upevnění reflektoru do tělesa světlometu

Základem každého pevného uložení prvku do konstrukční soustavy je odebrání všech stupňů volnosti. Musíme docílit staticky určité soustavy. Stejně tomu je i u reflektoru. Ten se upevňuje do tělesa světlometu, které slouží jako hlavní nosný prvek většiny dílů ve světlometu a zároveň i jako jejich “zakrytí” ze zadní části světlometu. Z přední strany slouží jako zakrytí čelní sklo, které se lepí do lepící drážky na okraji tělesa světlometu.

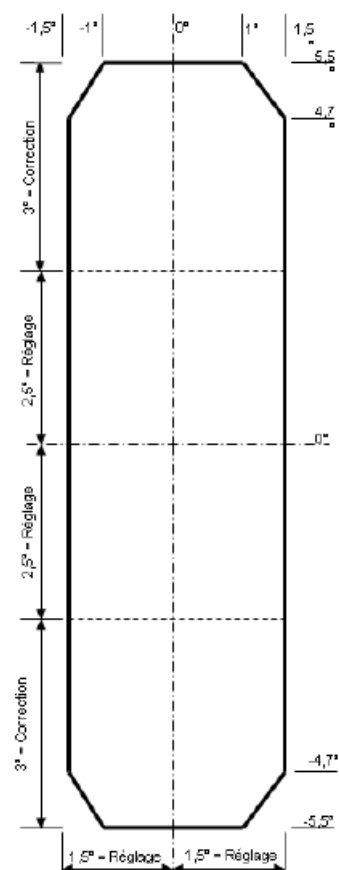
Upevnění reflektoru do světlometu musí být pevné, musí odolávat vibračním způsobeným provozem vozidla a hlavně musí umožňovat korekci směru svícení reflektoru. To znamená, že upevnění musí být uskutečněno pomocí kloubových vazeb, jelikož při korekci směru svícení dochází k naklápění reflektoru podle dvou os (viz. 3.3.2 *Kinematika reflektoru*). Dalším požadavkem je dobrá smontovatelnost sestavy reflektoru na výrobní lince. Pozice všech prvků světlometu musí být jednoznačná, aby nedošlo k záměně podobných dílů pracovníkem na výrobní lince. Mohlo by jednoduše dojít k tomu, že pokud by některý díl umožňoval připevnit v jiné poloze, než je ta správná, je pravděpodobné, že by se razantně zvýšila zmetkovitost, poškození dílů a zpomalení výroby napravováním vzniklých problémů. Proto se musí při návrhu dílů, nebo jejich upevňujících prvků počítat s geometrickou rozdílností.

3.3.2 Kinematika reflektoru

Jak již bylo zmíněno, reflektor musí umožňovat korekci směru svícení ve dvou osách. Kinematika reflektoru se zabývá právě naklápěcím pohybem dílu reflektoru ve světlometu. Pohyb je uskutečňován pomocí seřizovacího zařízení elektrického, nebo manuálního. V praktickém vývoji je kinematika velmi důležitá pro vymezení prostoru zástavby ostatních dílů světlometu. Při návrhu se musí počítat se všemi krajními polohami reflektoru. V prostředí programu CATIA se zmíněné polohy nakopírují do krajních pozic a každá z nich se definuje různou barvou. Při prvním pohledu je pak jasné, který prostor je nutné nechat volný pro pohyb reflektoru bez kolizí s ostatními díly. Ve skutečnosti je vymezený prostor ve světlometu pro reflektor ještě větší. Musí se do něj navíc započítat odsazení od jednotlivých dílů, které určuje předpis. V přílohách je přiložen snímek zvýrazněné kinematiky (Příloha 6).

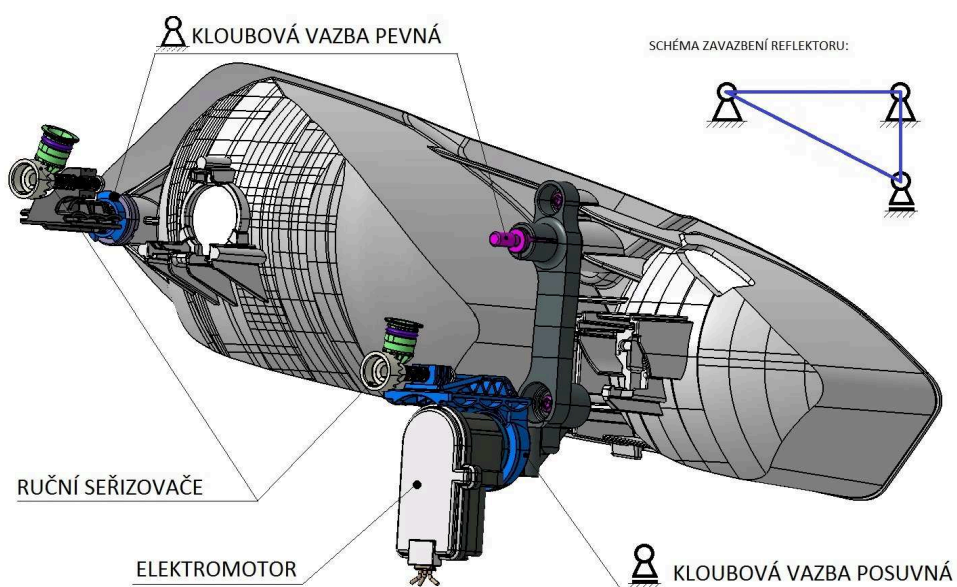


Automatic Correction in height with fixed low beam function



Obr.13 – Oblast možného seřízení směru svícení reflektoru dle předpisu. Zahrnuje v sobě toleranční pole továrního přednastavení i korekce uživatelem vozidla.

3.3.3 Kloubové vazby

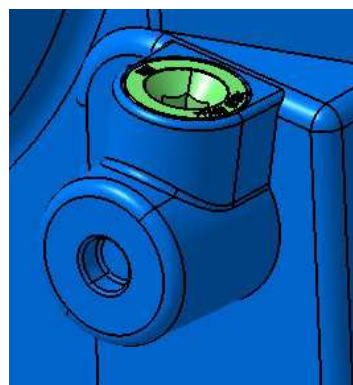


Obr.14 – Rozložení upevňujících prvků reflektoru.

Při návrhu upevnění se počítalo s aplikací tři kulových čepů (viz. Obr.14), které zajistí možnost naklopení reflektoru. Aby se docílilo odebrání všech stupňů volnosti a tím i staticky určitého uložení reflektoru, jsou dva čepy uloženy pevnou vazbou a jeden posuvnou. Zásadním se tedy stalo rozmístění těchto čepů po reflektoru. Jejich umístění se v průběhu vývoje několikrát změnilo, zejména z důvodu negativního výsledku vibračních zkoušek, nesplněných podmínek pro vyrobitelnost nebo kvůli kolizi v zástavbovém prostoru světlometu. Poslední důvod byl poměrně častý, a to nejen u upevnění reflektoru. Světlomet se skládá z desítek komponentů umístěných ve velmi malém zástavbovém prostoru. Při vývoji bylo nutné neustále kontrolovat možné kolize, nebo nežádoucí přiblížení dvou různých součástí. Předpisy či požadavky stanovují určité mezery mezi různými komponenty. Byť jsou velmi malé (v řádech jednotek milimetrů), dokáží vývoj pořádně znepříjemnit. V zástavbovém prostoru světlometu se proto bojuje o každý centimetr krychlový prostoru. Reflektor LB a HB je v tomto ohledu poměrně náročným dílem z důvodu jeho kinematiky, kdy dochází k posuvům tělesa reflektoru do různých stran. Proto mezera mezi reflektorem a ostatními díly je větší, než u pevně připevněných komponentů, jako je např. krycí sklo, nebo maska.

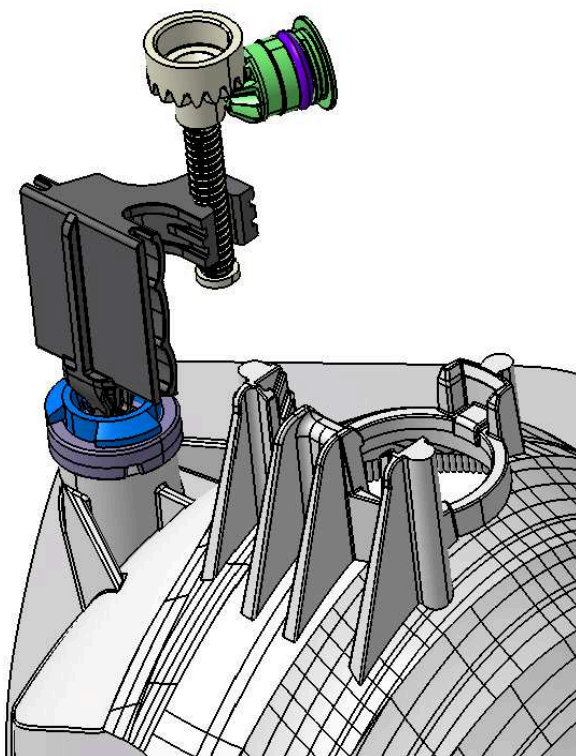


Obr.15 – Kulový čep použitý k upevnění.



Obr.16 – Pohled na šroub seřizovače reflektoru do tělesa světlometu.

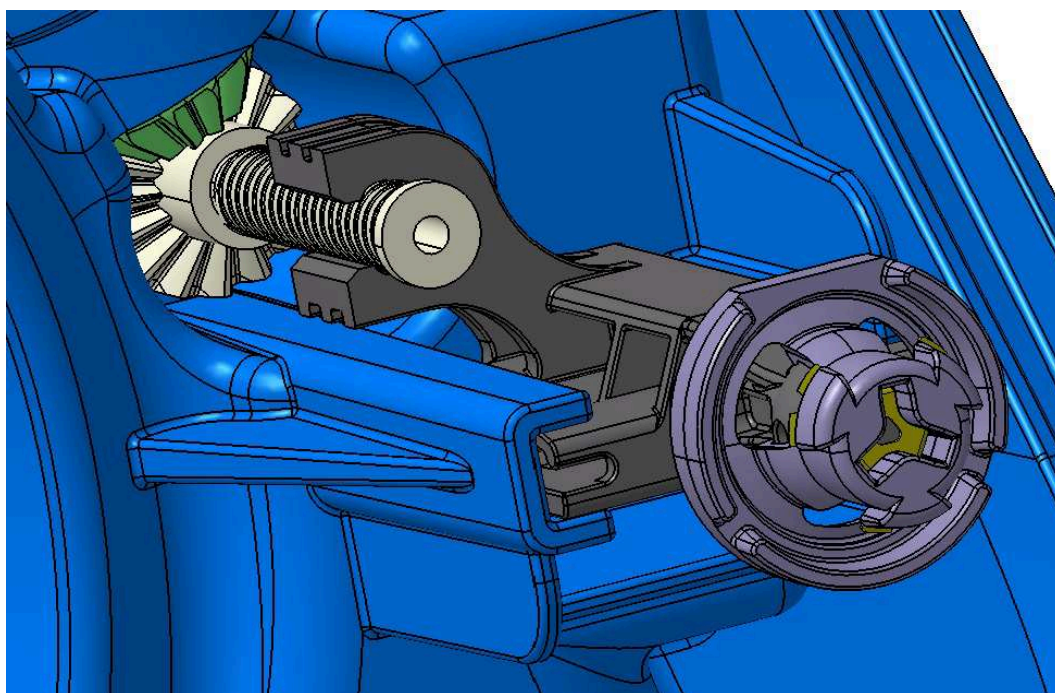
Na Obrázku 14 je patrné rozložení kulových čepů. Dva ze tří kulových čepů jsou navíc součástí seřizovacích zařízení. Při pohledu na reflektor zezadu se jeden čep nachází u okraje vlevo, jehož protikus s kulovým lůžkem hlavy čepu je součástí seřizovacího zařízení směru svícení v horizontální ose. Toto zařízení není možno ovládat pomocí ovládacího zařízení z kabiny řidiče. Slouží pro tovární nastavení předem určeným seřizovacím klíčem, nebo pro korekci odborníkem např. v autoservisu.



Obr.17 –Seřizovací zařízení

Na Obrázku 17 (vlevo) a 18 je zobrazeno manuální seřizovací zařízení. Černá součástka obsahuje kulový čep, který je skryt v lůžku čepu (šedofialová barva). Střední část součástky slouží pro přímočaré vedení v drážce v tělese světlometu. Na výstupku se nachází závit pro pohybový šroub, jehož otáčením dochází k posuvu součástky v drážce a tím i ke korekci směru svícení v horizontální ose. Přenos síly na šroub je uskutečněn pomocí jednoduchého kuželového soukolí. To je zde umístěno ne kvůli snížení potřebného momentu vyvíjeného na klíč, ale kvůli lepšímu přístupu

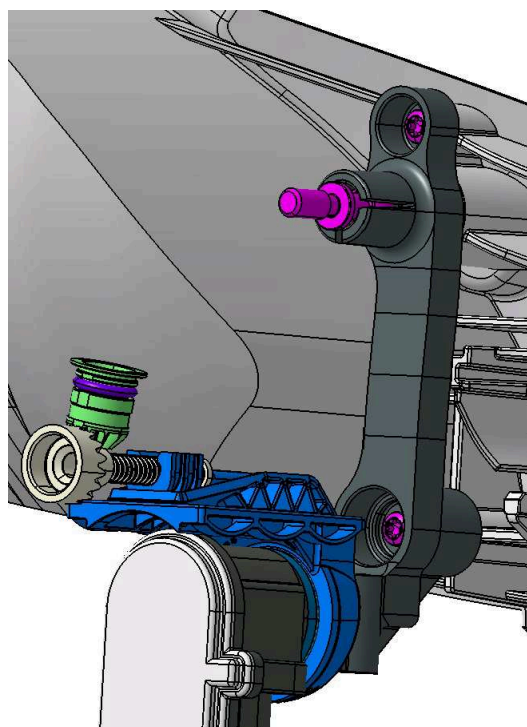
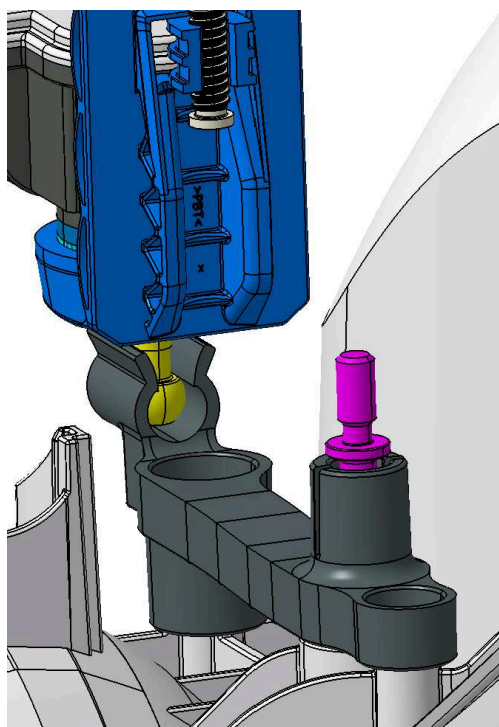
seřizovače k zařízení. Soukolí je rovněž uloženo v tělese světlometu. Na Obr.18 je pohled na uložení zařízení do tělesa světlometu. Vodící drážka je zpevněna žebry pro vyšší pevnost kvůli vibracím. Místo pro soukolí je řešeno “tunelem”.



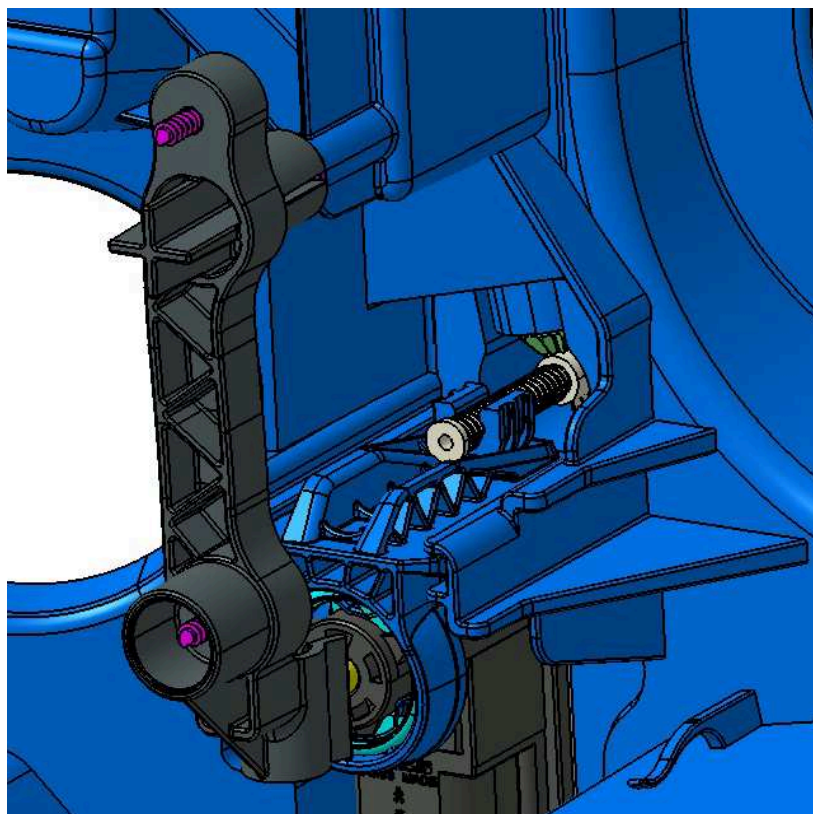
Obr.18 – Pohled na uložení seřizovacího zařízení.

Druhý kulový čep, který je uložen posuvně, se nachází u elektromotoru seřizovače pro vertikální osu svícení. Tento elektromotor je ovládán z kabiny řidiče. Nachází se ale u něj také ruční seřizovač pro speciální klíč, který pracuje na stejném principu jako předchozí. Slouží zejména k továrnímu seřízení. Kulový čep, který je uložen posuvně, je součástí sestavy seřizovacího zařízení s elektromotorem. Na Obr.19 je zvýrazněn žlutě. Hlava čepu je uložena v kruhové drážce nosné konzoly (dále jen bracket). Bracketem a jeho vývojem se dále zabývám v další kapitole. Elektronické seřizovací zařízení je standardní díl, který se využívá v řadě projektů firmy Varroc Lighting Systems.

Třetí čep je uložen pevně do tělesa světlometu a slouží jako pevný bod, resp. nemění svou polohu při seřizování směru svícení. Protikusem je lůžko zabudované v bracketu. Lůžko je řešeno tak, že čep se při montáži světlometu do lůžka zacvakne a tvoří tak relativně pevné spojení.



Obr.19 (vlevo) a Obr.20 (vpravo) – Snímky zachycují konstrukční řešení pevné a posuvné kloubové vazby. Oba klouby jsou napojeny do bracketu. Nosný prvek elektromotoru (modrá součástka) slouží zároveň k přímočarému posuvu ve vodící drážce v tělesa světlometu. Tento posuv je ale vykonáván jen při manuálním seřizování klíčem. Při korekci směru svícení ve vertikální ose z kabiny řidiče se využívá elektromotor, který vysouvá nebo zasouvá rotačním pohybem kulový čep (žlutý).



Obr.21 – Pohled na sestavu seřizovače uloženou do tělesa světlometu.

3.3.4 Nosná konzola reflektoru – bracket

Jak již bylo patrné z předchozích obrázků, reflektor je upevněn do tělesa světlometu díky bracketu. Plní jednak roli nosné konzoly reflektoru, ale je důležitý i pro korekci směru svícení. Těleso bracketu bylo v různých fázích vývoje světlometu několikrát pozměněno, zejména kvůli nově vzniklým kolizím při změnách poloh jednotlivých součástek ve světlometu, nebo kvůli negativním výsledkům vibračních simulací. Naštěstí oproti některým součástkám v reflektoru, které jsou nemodifikovatelné (jsou používány v různých světlometech výrobce, jen se zvolí vhodný typ a osadí se na potřebné místo ve světlometu, např. elektromotor seřizovače, kulové čepy apod.), lze tvar bracketu poměrně volně měnit a přizpůsobovat.

Jako materiál bracketu byl zvolen termoplast na bázi acetalového polymeru Polyoxymetylen, zkráceně POM. Polyoxymetylen pro své velmi dobré vlastnosti zajišťuje dobrou funkci bracketu. Má velmi dobrou odolnost vůči teplotám v rozmezí od -50°C až do $+120^{\circ}\text{C}$ (odolnost vůči teplotám, zejména těm vysokým, je důležitý faktor při volbě materiálů do světlometu. Při provozu světlometu dosahují teploty v nejteplejších místech světlometu běžně okolo 100°C , kolem bracketu se ale teplotní pole pohybují na nižších hodnotách). Výrobky z POM mají hladký a ořezuvzdorný

povrch (což je výhodné u části lůžek pro kulový čep), v rámci plastů má vysokou pevnost, pružnost, tvrdost, rozměrovou stálost i ve vlhkém prostředí. Taktéž se velmi dobře obrábí, má dobré únavové a tlumící vlastnosti, rázovou houževnatost a odolnost vůči vibracím.

Vlastnosti materiálu POM:

- mez pevnosti: 70 – 80 MPa
- houževnatost: 8 kJ/m²
- dobrá obrobiteľnosť
- dobré třecí vlastnosti: $\mu = 0,25 - 0,45$ (suché tření)
- široký rozsah pracovních teplot: od -50 do +120 °C
- tvrdost: M 86 – M 90
- hustota: 1,4 kg/dm³ [4]

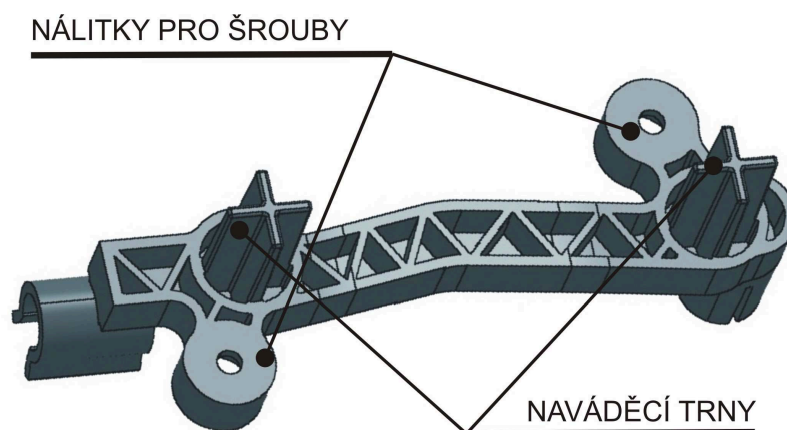
3.3.4.1 Vývoj tvaru bracektu

Vstupními daty pro návrh tvaru bracketu jsou pozice šroubů a kulových čepů. Zpravidla se jeho tvar přizpůsobuje dispozičním potřebám zejména krycí masky světlometu a samotného reflektoru, ale nejen jim. Požadavky na funkci bracketu jsou:

- nosný prvek reflektoru, slouží jako jeho nosná konzola
- obsahuje dvě ze tří kloubových vazeb, z toho jedna je posuvná – proto musí mít vhodně navržená lůžka pro kulové čepy
- zajišťuje přenos sil ze seřizovacích zařízení na reflektor potřebných ke korekci směru svícení
- dostatečně pevné spojení s reflektorem i s lokačními prvky pro nasazení do správné polohy při montáži
- konstrukce odolná vibracím a tvarovým výchylkám při zatížení
- odsazení od tělesa světlometu min. 3mm (vyjma kontaktních míst sloužících pro spojení)
- použití “feature“ (části dílů, které jsou v konstrukční kanceláři normalizovány a používány i v jiných projektech)
- dobrá a bezproblémová vyrobiteľnosť

První varianta

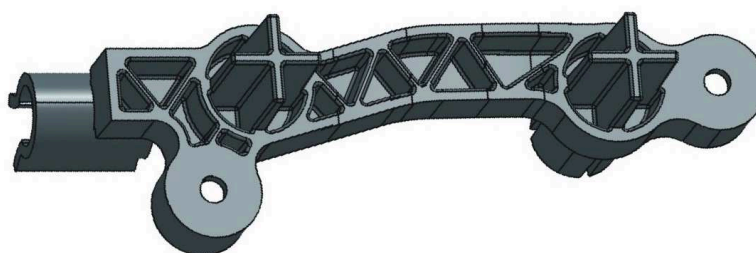
Nejdříve se uvažovalo s dvěma lokátory (vysunuté žebra s křížovým profilem), které navíc zpevní spojení s reflektorem. Po stranách jsou dva výstupky, na nichž se nachází díra pro šroub společně s naváděním pro bezproblémové nasazení šroubu do správné polohy. Prohnutí ve střední části je kvůli dodržení minimálního odstupu od tělesa reflektoru. Na obou koncích se nachází lůžka pro kulové čepy. Jedno je pevné, druhé je pro posuvné uložení. Tato varianta byla zavržena kvůli zbytečné tvarové složitosti a špatným mechanickým vlastnostem, zejména při vibracích.



Obr.22 – První varianta bracketu.

Druhá varianta

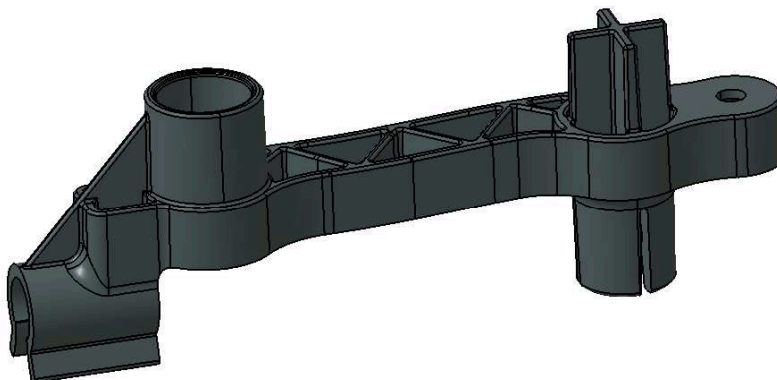
Při optimalizaci tvaru bracketu došlo k několika změnám. Z Obrázku 23 je zřejmé zmenšení celkové délky součásti, přiblížení naváděcích lokátorů a změna polohy jedné z děr pro šrouby, která se přesunula do přibližné osy lokátorů. Varianta světloometu obsahující druhou verzi bracketu byla analyzována vibrační simulací. Na základě výsledků bylo nutné vyřešit nepříznivou frekvenci v oblasti reflektoru HB. Došlo se k závěru, že problém s vibracemi by mohla vyřešit další úprava bracketu.



Obr.23 – Druhá varianta bracketu.

Třetí varianta

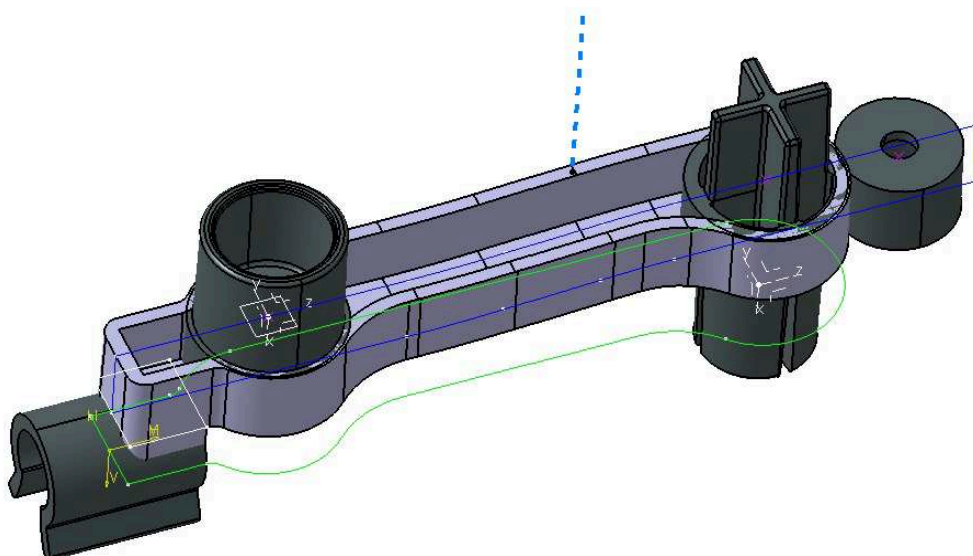
Tato varianta je variantou finální. Díry pro šrouby, lůžka pro čepy i zbylý lokátor se umístily do přibližné osy. Došlo k úpravě lokátorů – jeden zůstal křížový, druhý se zkombinoval s dírou na šroub. Ta má nově vysunuté navádění pro náletek na tělesu světlometu. Došlo tím k vítané redukci rozměrů bracketu. Navádění nálitku pro šroub a lůžko pro posuvné uložení kulového čepu je navíc propojeno žebrem, které celý díl zpevňuje.



Obr.24 – Třetí varianta bracketu.

Postup tvorby bracketu:

Vstupními daty pro návrh tvaru bracketu jsou rozmístění spojovacích a lokačních prvků a kulových čepů. Nejdříve se umístí funkční části (Obr.25, černá barva) do požadovaných poloh definovaných vstupními daty. Poté se domodeluje tělo bracketu (Obr.25, světle šedá barva).



Obr.25 – Rozložení bracketu – snímek zachycuje postup v modelování.

Dalším krokem je domodelování zpevňujících prvků, a to žebrování uvnitř dutiny těla a samostatná zpevňující žebra. Žebra mají zásadní vliv na pevnost a tuhost dané součásti. Při jejich absenci by docházelo k výrazným deformacím i při relativně menším zatížení. Tloušťka žeber bývá menší než tloušťka stěn dílu.

Pro materiál POM je doporučený poměr tloušťky stěn dán vztahem[5]:

$$a \leq 0,5 \cdot s [mm] \quad (1)$$

a.....tloušťka žebra

s.....tloušťka stěny

Tloušťka stěny bracketu byla zvolena $s = 2\text{mm}$, aby se docílilo požadované tuhosti a pevnosti.

Výpočet doporučené tloušťky žebra pro bracket:

$$a \leq 0,5 \cdot s [mm]$$

$$a \leq 0,5 \cdot 2 \quad (1)$$

$$\underline{a \leq 1\text{mm}}$$

Rádus v rozích mezi žebry jsem zvolil $R=0,5$. Přijatelnou volbou by byl $R=0,3$, ovšem menší fréza se při obrábění více opotřebovává a tím se prodražuje výroba formy.

Výpočet vstupního průměru lůžka kulového čepu pro materiál POM[5]:

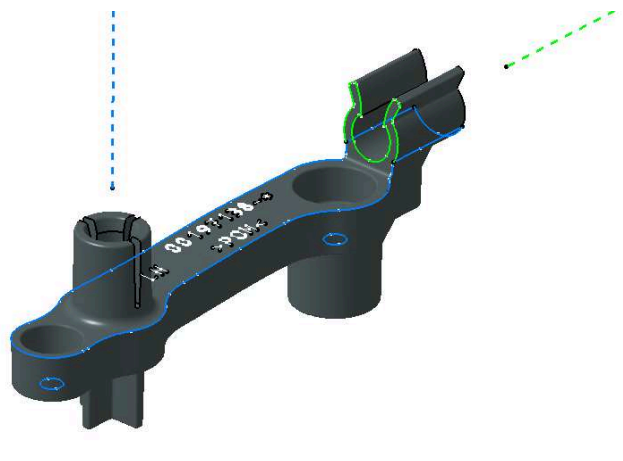
$$D_K = 0,85 \cdot D_G [mm]$$

$$D_K = 0,85 \cdot 10 \quad (2)$$

$$\underline{D_K = 8,5\text{mm}}$$

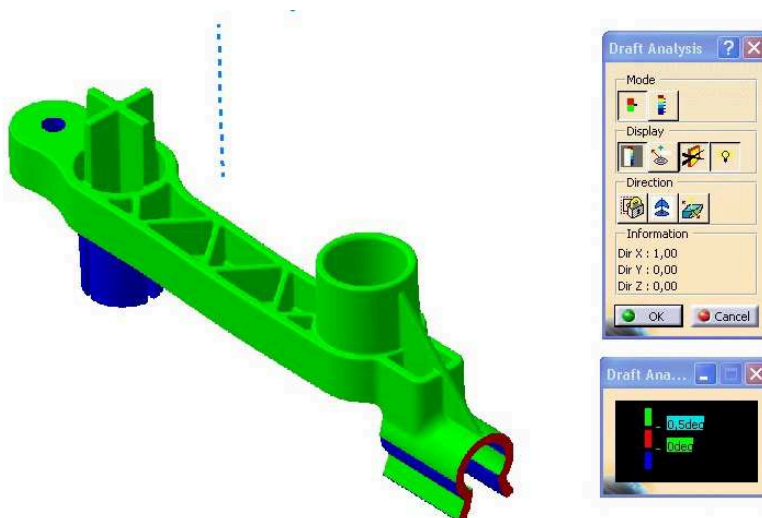
3.3.4.2 Dělicí rovina a zaformovatelnost bracketu

Bylo nutné zvolit dělicí rovinu a od ní odvíjet směry úkosů jednotlivých stěn. Volba dělicí roviny je znázorněna na Obr.26.



Obr.26 – Zvýrazněné směry lisování a dělicí roviny.

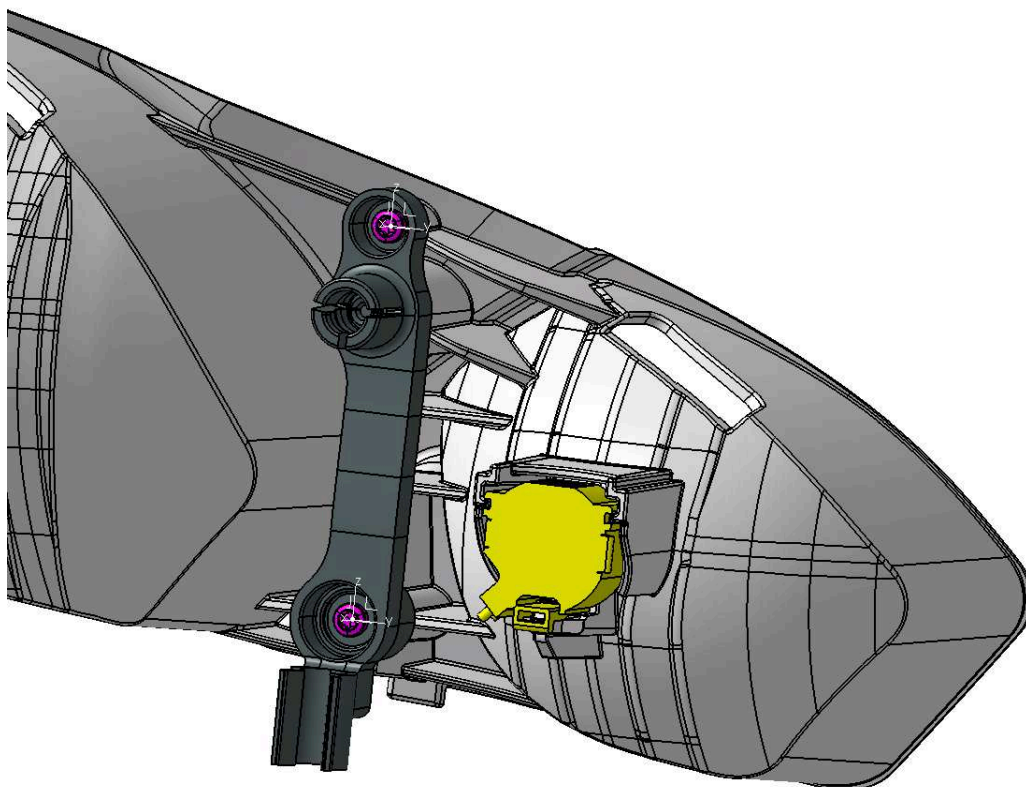
Všechny stěny jsou zkoseny po úhlem minimálně $0,5^\circ$ z důvodu vytažení vystříknutého dílu z formy. Je nutné, aby úkos začínal na dělicí rovině. V 3D software CATIA V5 existuje užitečná funkce s názvem *Draft Analysis*. Pomáhá nám zejména při konstrukci plastových výrobků s dodržováním předepsaných úkosů a odhaluje případná vzniklá nedopatření. Při zvolení lisovacího směru zvýrazní v nastavené barevné škále úkosity jednotlivých stěn. Úkosity lze i přímo přesně změřit a nespolehat se pouze na barevné zvýraznění. Pro kontrolu ale barevné zvýraznění dostačuje a lépe odhalí případné problémy. Obr.27 znázorňuje výstupní data z analýzy.



Obr.27 – Draft Analysis.

Přerušovaná čára je směr lisování. Zelenou barvou jsou dle legendy označeny stěny, které mají úkos více než $0,5^\circ$. Tento úhel je limitní, na dílu jsou ale úkosity 1° a více. Touto analýzou nejen zjistíme úkosity stěn, ale díky vhodně nastavené barevné škále zvýrazníme dělicí rovinu, nebo její přechody. Z obrázku analýzy je patrné, že lůžko posuvného uložení čepu je v “podkosu” (část stěny je modrá), je tedy nezaformovatelné. Proto se tato část formy bude řešit tzv. “šoupátkem” – posuvným mechanismem. Vzniknou tak dva lisovací směry. Sice se návrhem formy pro vstřikování v této práci nezabývám, je však důležité přihlížet při návrhu jakýchkoliv dílů i na jejich vyrobiteľnost, resp. posoudit ekonomickou stránku výroby. Často lze některá řešení prosadit s daleko menšími finančními náklady na výrobu formy díky často minimálním úpravám na samotném díle. Zde jsou ale dva lisovací směry kvůli požadavkům na díl nutné a tudíž je i nezbytné navýšení nákladů na formu díky přítomnosti posuvných mechanismů.

3.3.4.3 Umístění bracketu na reflektoru



Obr.28 – Sestava bracketu a reflektoru. Pozice bracketu je určena dvěma lokátory a je připevněn k reflektoru dvěma šrouby 4.0x1.46x10.0 se zaoblenou válcovou hlavou, vnitřním torxem a samořezným závitem do plastu SST.

3.4 Konstrukční řešení reflektoru LB a HB

Z předchozích kapitol lze vyčíst, že vývoj reflektoru je poměrně technicky různorodá činnost. Z konstruktérského hlediska je nejvíce ovlivněná zadní část reflektoru, kde se nachází různé upevňovací a zpevňovací prvky. Popis všech částí reflektoru, nebo jeho nedílného příslušenství je předmětem následujících kapitol.

3.4.1 Volba materiálu pro reflektor

Volba materiálu je důležitým prvkem ve vývoji nejen osvětlovací techniky. U plastových výrobků vstupuje do volby materiálu několik proměnných, jako jsou mechanické vlastnosti materiálu, tepelná odolnost, konstrukční tvarová omezení a mnoho dalších.

U reflektoru padla volba na termoset UP - (MD+GF)80<, přesněji **Menzolit BMC3100**. Tento materiál má výborné mechanické vlastnosti (v rámci plastů velmi vysoký modul pružnosti $E = 14\text{GPa}$, pevnost v tahu $R_m=25\text{MPa}$) a tepelnou odolnost ($T_{\text{dovol.}} = 250^\circ\text{C}$).

Výhody:

- Dobré mechanické a teplotní vlastnosti.
- Možnost tlustých (6mm) i tenkých stěn (1mm) na jednom díle, netvoří se propadliny na druhé straně stěny. Sklon přechodu mezi tloušťkami může být poměrně velký.

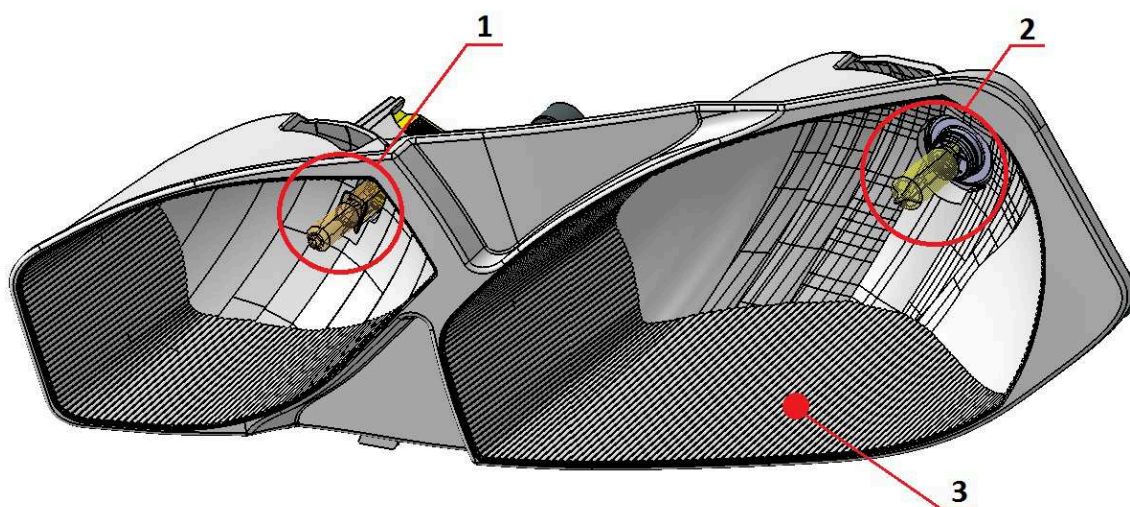
Nevýhody:

- Vysoká hustota a tím velká hmotnost dílu ($2,03\text{g/cm}^3 \rightarrow m_{\text{refl.}} = 0,49\text{kg}$)
- BMC je při lisování velmi tekutý, což vytváří problémy s utěsněním formy. Vznikají tak přetoky na hotových výrobcích, které je nutno mechanicky odstranit.
- Výrobek nesmí obsahovat příliš dlouhé a zároveň tenké stěny. [6][7]

Požadavky nástrojárny:

- Zkosení stěn minimálně 2° .
- Nelze použít posuvné mechanismy formy kvůli utěsnění.

3.4.2 Popis a charakteristiky jednotlivých částí reflektoru a jeho příslušenství



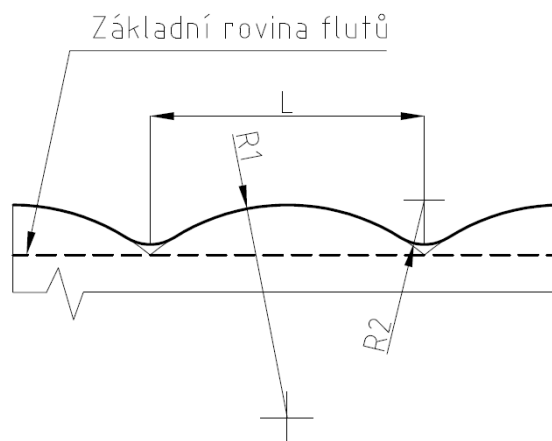
Obr.29 – Pohled na přední část reflektoru

Popis jednotlivých částí ze zadní strany reflektoru, očíslované pozice jsou na Obr.29.

- 1 - Komora dálkového světla s halogenovou žárovkou H1. Bližší popis žárovky je v kapitole 3.4.2.1 *Žárovky a jejich upevnění do reflektoru*.
- 2 - Komora tlumeného světla s halogenovou žárovkou H7. Bližší popis žárovky je v kapitole 3.4.2.1 *Žárovky a jejich upevnění do reflektoru*.
- 3 - Fluty – jsou to vlnky, které narušují rovinnou plochu daného dílu. Mohou plnit dvě základní funkce:

Optická funkce – svým specifickým profilem rozbíjejí rovinný povrch funkční optické plochy a tím mění úhel dopadu a odrazu světelných paprsků.

Design – někdy může nastat situace, např. u průhledných dílů, kdy nechceme, aby skrz ně bylo vidět. Fluty jsou jednoduchým řešením, pokud chceme dosáhnout snížené průhlednosti dílu z čirého plastu. Komory LB a HB jsou opatřeny fluty právě z důvodu designu a tepelné odolnosti.



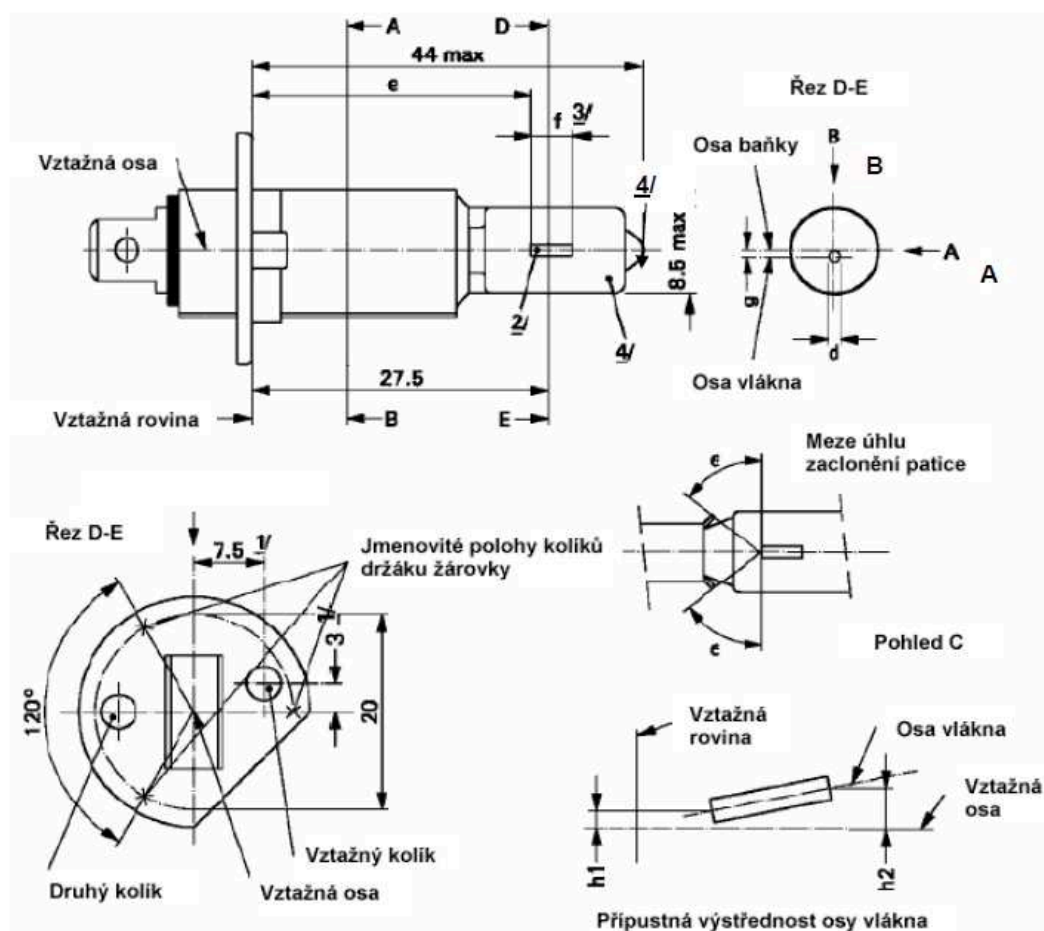
Obr.30 – Náčrtes profilu flutů, na kterém jsou zakótované základní počáteční parametry. Ty jsou zadávány optiky, nebo designéry – záleží na jejich funkci nebo umístění na díle..

3.4.2.1 Žárovky a jejich upevnění do reflektoru

Jako světelné zdroje byly použity žárovky typu H1 a H7. Pro tlumené světlo – LB byla zvolena žárovka H7, pro dálkové světlo –HB žárovka H1. Volba těchto žárovek vyplývá ze zadání práce. Obě žárovky jsou normalizované, podléhají homologaci a podléhají předpisu: **Předpis č.37/Revize 7 - Jednotná ustanovení pro homologaci žárovek k užití v homologovaných celcích svítlen/svĕtlometů motorových vozidel a jejich přípojných vozidel**, která je součástí celku **Dohoda o přijetí jednotných technických pravidel pro kolová vozidla, zařízení a části, které se mohou montovat a/nebo užívat na kolových vozidlech a o podmínkách pro vzájemné uznávání homologací, udělených na základě těchto pravidel**, vydaného Organizací spojených národů.[8]

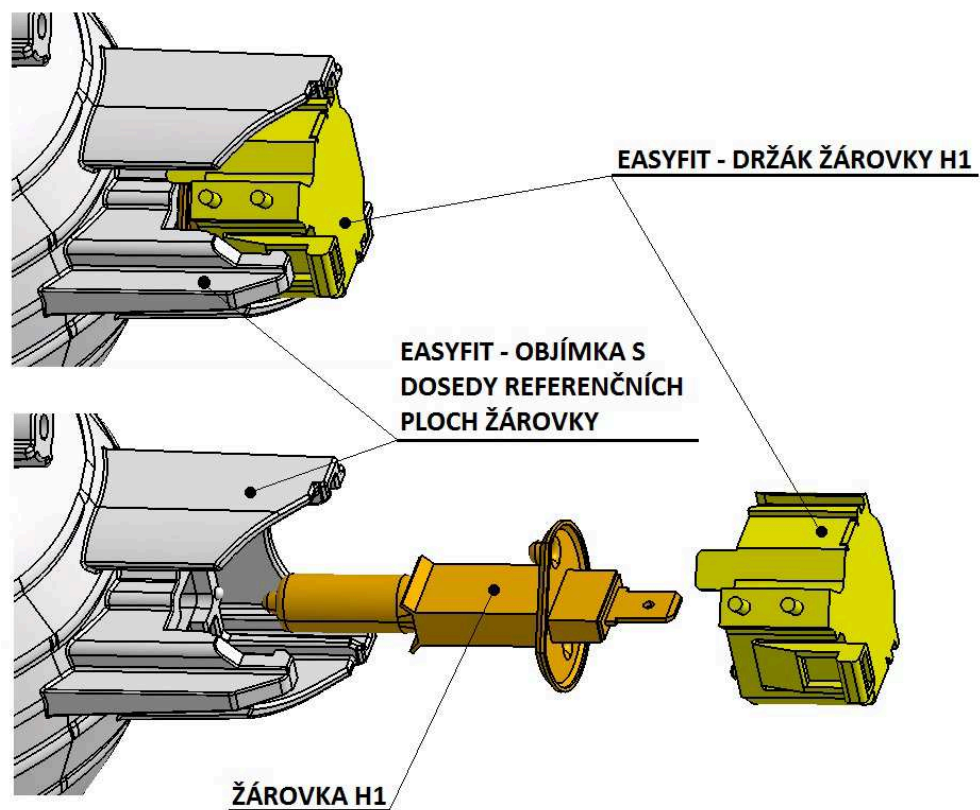
Podmínkou vyplývající ze zadání bylo opatřit reflektor úchytným prvkem typu Easyfit. Toto uchycení žárovky v sobě skrývá řadu výhod. Zejména snadnou a rychlou výměnu žárovky ve svĕtlometu. Reflektor je proto opatřen speciálními objímkami, které jsou součástí monolitického tělesa reflektoru. Objímky neslouží k přímému uchycení žárovky, ale plastového držáku systému Easyfit. Žárovka se proto musí nejdříve spojit s držákem, až pak se tento celek zasune do objímky. Držák přitlačuje styčnou plochu žárovky k objímce a po zasunutí a doražení do mezní polohy je zajištěn záskočkou.

Halogenová žárovka H1



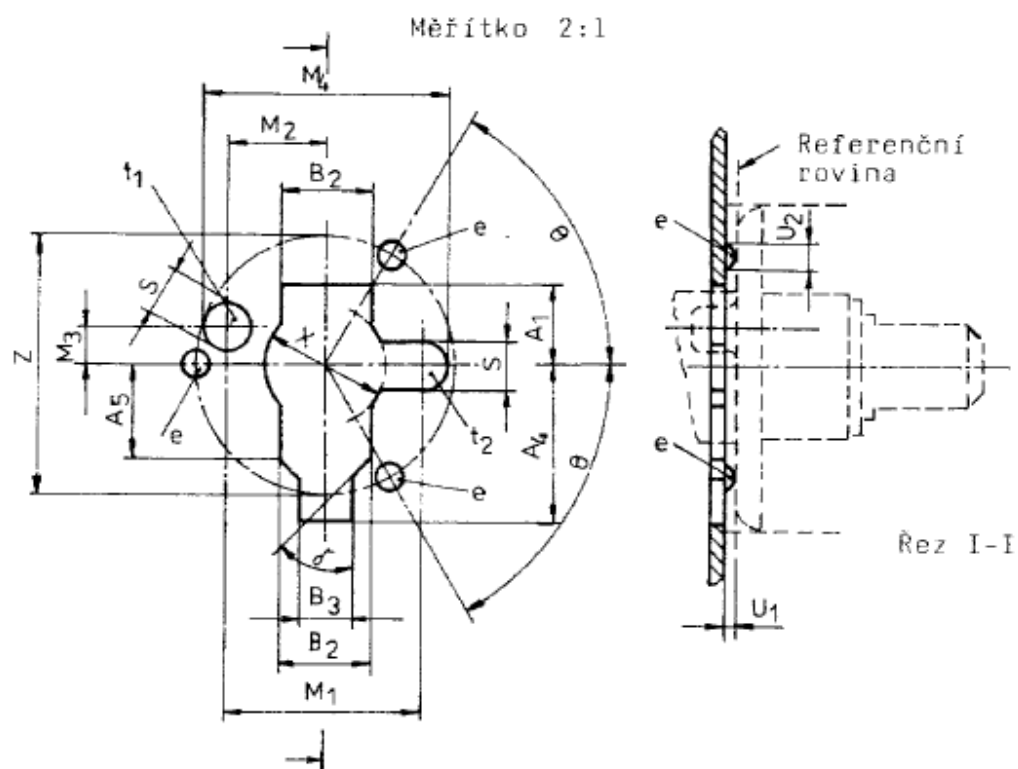
Rozměry mm		Žárovky běžné výroby			Zkušební žárovka	
		6 V	12 V	24 V	12 V	
e 6/ 10/		25.0 9/			25.0 ± 0.15	
f 6/ 10/		4.5 ± 1.0	5.0 ± 0.5	5.5 ± 1.0	5.0 +0.50/-0.00	
g 7/ 8/		0.5 d ± 0.5 d			0.5 d ± 0.25 d	
h1		9/			0 ± 0.20 5/	
h2		9/			0 ± 0.25 5/	
ε		45° ± 12°			45° ± 3°	
Patice P14,5s dle publ. IEC 61 (list 7004-46-2)						
ELEKTRICKÉ A FOTOMETRICKÉ VLASTNOSTI						
Hodnoty jmenovité	V	6	12	24	12	
	W	55		70	55	
zkušební	V	6,3	13,2	28	13,2	
Skutečné hodnoty	W	max 63	max 68	max 84	max 68 při 13,2	
	světelný tok ±%	1350	1550	1900		
		15				
Referenční světelný tok při napětí cca:					12 V 13.5 V	1150 1550

Obr.31 a Tab.1 – Rozměry a technické parametry žárovky H1.[8]



Obr.32 – Systém Easyfit pro žárovku H1.

Objímka pro žárovku s paticí P14,5s



Obr.33 – Rozměry objímky pro žárovky P14,5s.[9]

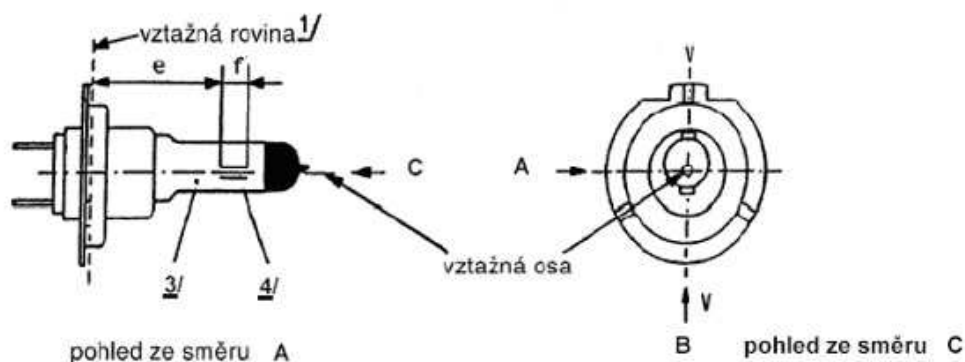
Rozměr	Min.	Max.
A_1	6,1	6,3
A_4	11,7	—
A_5	7,0	7,5
B_2	7,0	7,5
B_3	4,0	4,2
M_1	jmenovitě 14,5	
M_2	7,4	7,6
M_3	2,9	3,1
M_4	18,1	18,3
S	3,6	3,7
U_1	0,8	1,0
U_2	1,8	2,2
X	9,0	9,2
Z	19,5	20,5
δ	40°	45°
θ	59°	61°

Tab.2 – Hlavní rozměry objímky pro patici P14,5s.[9]

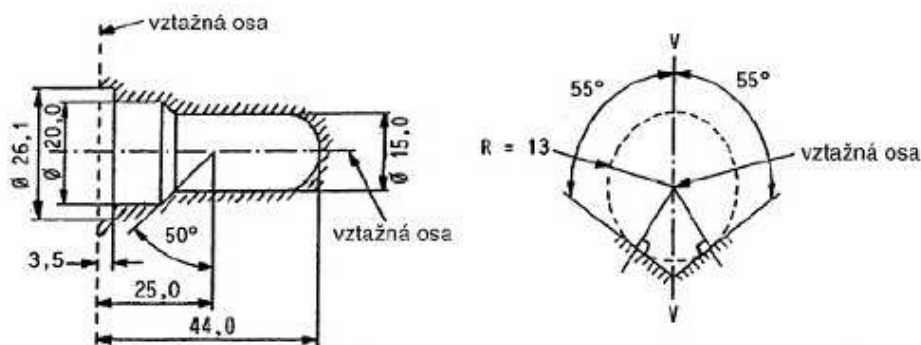
Objímka je součástí systému Easyfit a je umístěna na reflektoru. Správná orientace zdroje světla je zajištěna otvory t_1 a t_2 . Dané tři výstupky “E” určují referenční rovnu. Objímka je konstruována tak, aby držák žárovky byl možný použít jen v případě, že zdroj světla je ve správné poloze. Zařízení pro přidržování je ve styku jen se středícím kroužkem patice a celková síla vynaložená, je-li zdroj světla ve správné poloze, se pohybuje v intervalu $10N < F < 60N$.

Halogenová žárovka H7

Komora tlumeného světla se žárovkou H7 je v tomto projektu z hlediska optických parametrů citlivá na jakékoliv výchylky, např. vychýlení ohniska žárovky v různých osách. Tento problém vznikl kvůli objímce Easyfit H7 a malé rezervě v optických parametrech. Řešení problému je předmětem dalších kapitol.



Obr.34 – Parametry žárovky H7 – vztažná rovina.[10]



Obr.35 – Parametry žárovky H7 - vztažná osa.[10]

KATEGORIE H7

List H7/3

Rozměry v mm	Sériové žárovky		Zkušební žárovky 12 V	
	12 V	24 V		
e ^{9/}	25,0 ^{8/}		25,0 ± 0,1	
f ^{9/}	4,1 ^{10/}	4,9 ^{8/}	4,1 ± 0,1	
g ^{12/}	0,5 min.		horní případ	
h ₁ ^{11/}	0		± 0,1	
h ₂ ^{11/}	0		± 0,15	
γ ₁	40° min.		40° min.	
γ ₂	50° min.		50° min.	
γ ₃	30° min.		30° min.	
Patice PX26d dle publikace IEC 61 (list 7004-5-6)				
ELEKTRICKÉ A FOTOMETRICKÉ VLASTNOSTI				
		Sériové žárovky		Zkušební žárovky
Jmenovité napětí	V	12	24	12
Jmenovitý příkon ^{6/}	W	55	70	55
Zkušební napětí	V	13,2	28	13,2
Skutečné hodnoty	W	58 max.	75 max.	58 max.
	světelný tok lm	1500	1750	
	±%	10	10	
Referenční světelný tok při napětí cca:				12 V 1100 13,2 V 1500

^{9/} Konce vlákna jsou definovány jako body, kdy průmět vnějšku krajních závitů při pohledu ve směru 1 dle obr.1 na listu H7/1 protínají osu vlákna (zvláštní pokyny pro dvojité vinutá vlákna se připravují).

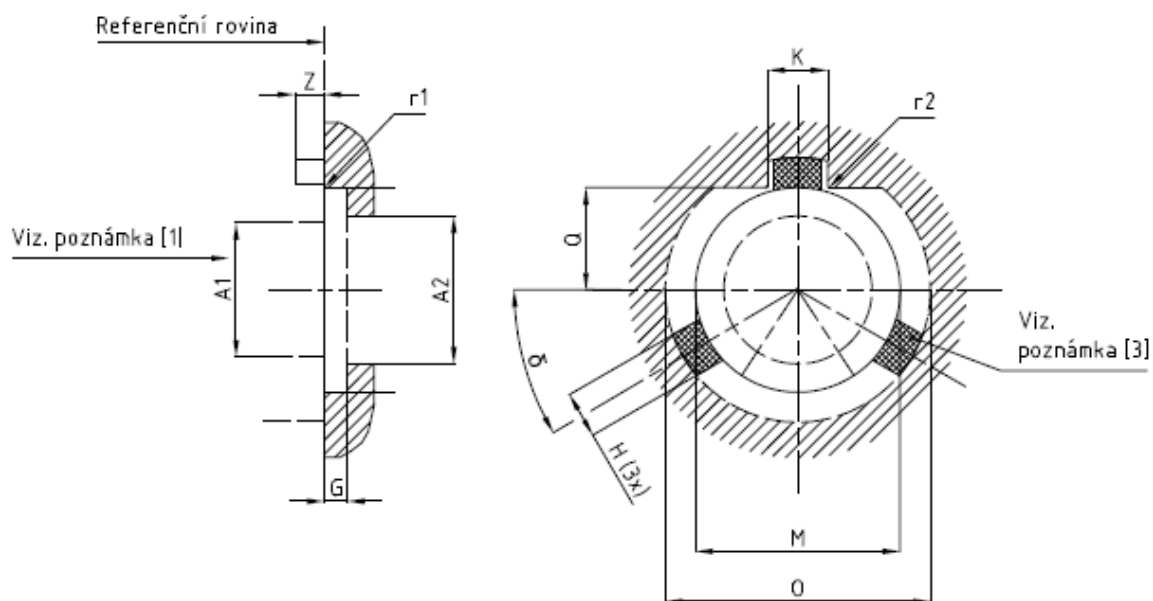
^{10/} Zkouší se "systémem ohraničení" dle listu H7/4

^{11/} Odchylka vlákna od referenční osy se měří pouze ve směru pohledu A a B dle obr.1 na listu H7/1. Měří se body, ve kterých průmět vnějšího povrchu krajních závitů, nejbližších nebo nejvzdálenějších od referenční osy, protínají osu vlákna.

^{12/} Odchylka vlákna vůči ose baňky, měřená ve dvou rovinách rovnoběžných se vztažnou rovinou, ve kterých průmět vnějšího povrchu krajních závitů, nejbližších nebo nejvzdálenějších od referenční osy, protínají osu vlákna.

Tab.3 – Rozměrové a technické parametry žárovky H7.[10]

Objímka pro patici PX26b



Obr.36 – objímka pro patici P26b.[10]

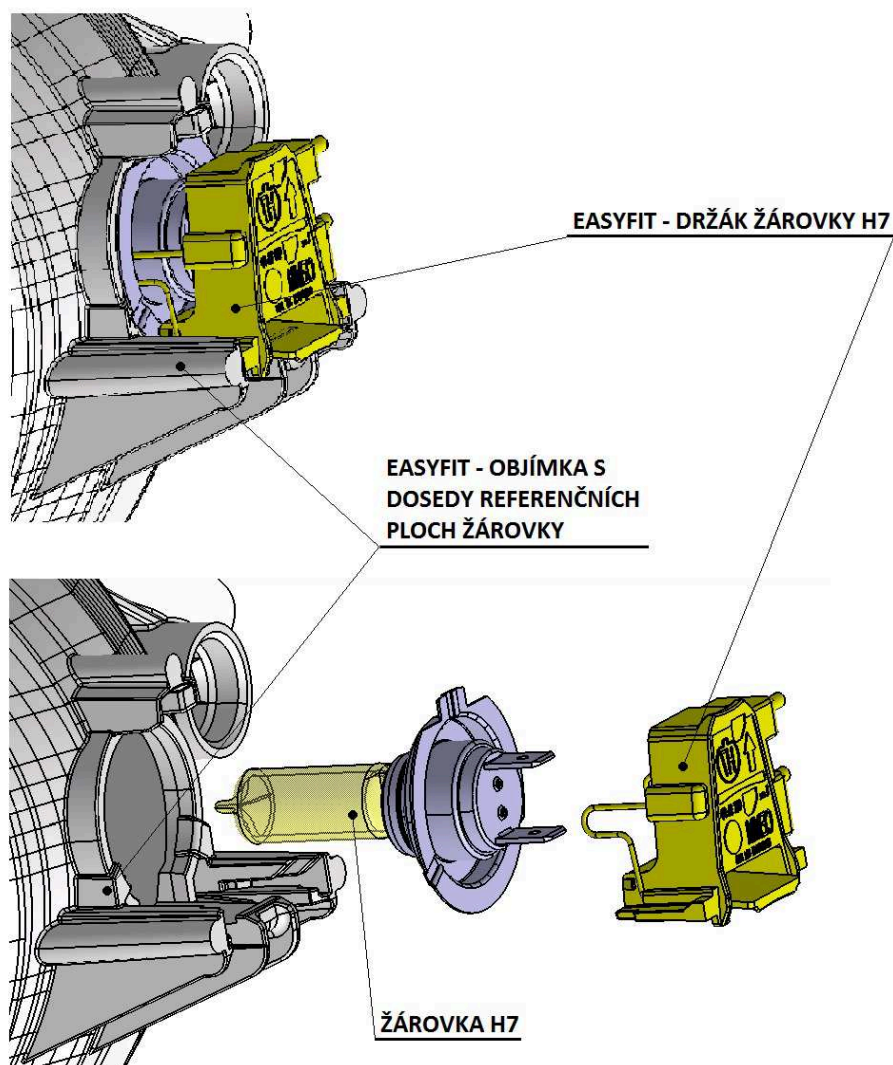
Objímka musí být konstruována tak, aby přidržovače zdroje světla (Easyfit) byly účinné pouze tehdy, jsou-li ve správné poloze. Přidržovače musí být v dotyku s kroužkem patice.

Rozměr	Min.	Max.
A1 (4)	18,5	
A2 (2)	20	
G	3,6	-
H (3)	5	-
K	8,1	8,2
M	26,02	26,12
O	35	-
Q	13,8	14,0
Z	4,0	-
r1	0,45	1,0
r2	0,4	0,6
δ	přibližně 30°	

Tab.4 – rozměry objímky PX26.[10]

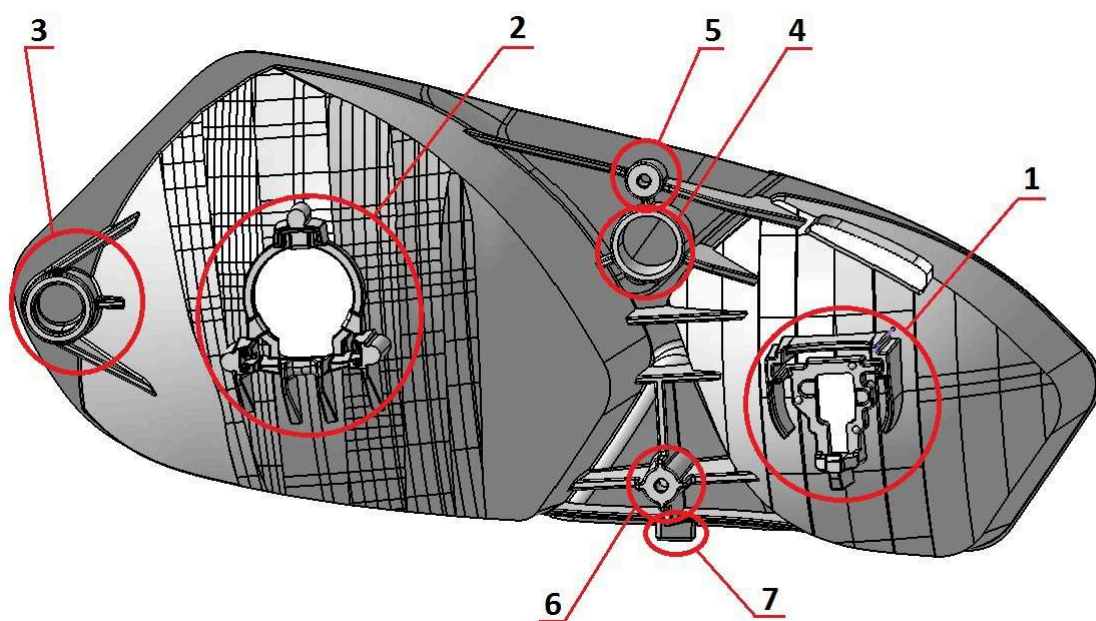
Vysvětlivky k poznámkám k Obrázku 36 a Tabulce 4:

- (1) Zdroj světla musí být vložen ve směru šipky (axiální směr) baňkou napřed. Síla pro vložení zdroje světla do správné polohy nesmí být menší než 15N a nesmí být větší než 30N.
- (2) Tento rozměr tvoří hranici mezi prostorem, který zaujímají části zdroje světla a prostorem, který zaujímají části objímky/světlometu.
- (3) Opěrné výstupky objímky pro opěrné výstupky patice, umístěné do referenční roviny. M_{max} se využije pouze pro tyto prostupy.
- (4) Způsob ochrany zdroje světla v objímce má být takový, aby se neuplatňovaly žádné síly ve směru referenčních os zdroje světla uvnitř této zóny. [10]



Obr.37 – Systém Easyfit pro žárovku H7.

Rozvržení zadní části reflektoru



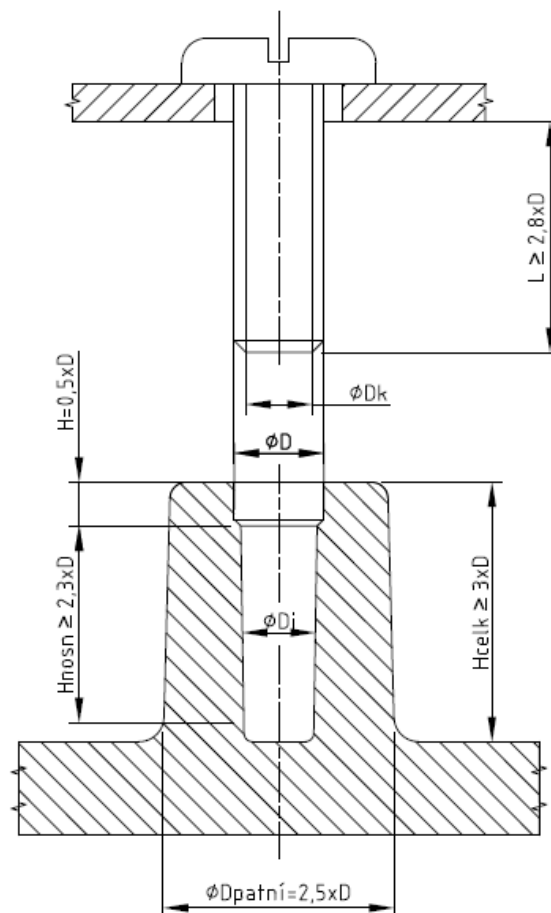
Obr.38 – Pohled na zadní část reflektoru.

Popis jednotlivých částí ze zadní strany reflektoru, očíslované pozice jsou na Obr.38.

- 1 - Easyfit objímka P14,5s pro upevnění žárovky H1.
- 2 - Easyfit objímka P26 pro upevnění žárovky H7.
- 3 - Tubusové uložení pro lůžko kulového čepu (viz. Obr.17). Vyztužující žebra jsou dodělaná a jsou poměrně robustní z důvodu tuhosti dílu.
- 4 - Tubusové navádění lokátoru bracketu.
- 5 - Nálitek s dírou pro šroub.
- 6 - Nálitek s dírou pro šroub a lokačními žebry
- 7 - Výstupek, který složí pro uchycení reflektoru na nosnou drátovou konstrukci při lakování.

3.4.2.2 Výpočet parametrů nálitku pro šroubové spojení reflektoru a bracketu

Na Obr.38 se jedná o pozici 5 a 6. Spojovací element je šroub 4.0x1.46x10.0 se zaoblenou válcovou hlavou, vnitřním torxem a samořezným závitem do plastu SST (na Obr.38 je náčrt šroubu pouze schematický).



Obr.39 – Schéma šroubového spojení bracketu a reflektoru. Zakótované parametry jsou pro materiál ABS.[5]

Předběžné výpočty parametrů znázorněných na Obrázku 39:

Zmíněný zdroj obsahuje výpočty pouze pro materiál ABS, proto jsem na základě porovnání vlastností materiálů odvodil nové vzorce pro předběžný návrh nálitku z materiálu BMC3100, který je několikanásobně pevnější než ABS.

Vstupní parametry:

Tloušťka stěny bracketu.....s = 2mm

Průměr šroubu.....D = 4mm

Délka šroubu.....l = 10mm

Délka závitu šroubu v nálitku:

$$\begin{aligned}L &\geq 2 \cdot D \\L &\geq 8 \\L_{skuteč} &= l - s \\ \underline{L_{skuteč} &= 8mm}\end{aligned}\tag{3}$$

Nosná výška – výška oblasti, kde je zařezán závit do nálitku:

$$\begin{aligned}H_{nosná} &\geq 1,5 \cdot D \\H_{nosná} &\geq 6mm \\ \underline{H_{nosná_{skuteč}} &= 6,4mm}\end{aligned}\tag{4}$$

Z toho vyplývá, že neutrální naváděcí výška je $H=1,6mm$.

Celková (minimální) výška nálitku:

Tento výpočet je problematický z důvodu umístění nálitků na šikmých plochách. Je nutno započítat určitou rezervu mezi špičku šroubu a dno nálitku. V mém případě je přiblížení dna ke šroubu patrné pouze v jednom případě. Délku mezery mezi nejbližšími body na ploše dna a šroubu 20% celkové délky šroubu v nálitku.

$$\begin{aligned}H_{celková} &\geq 1,2 \cdot L_{skuteč} \\H_{celková} &\geq 9,6mm \\ \underline{H_{celk_{skuteč}} &= Y}\end{aligned}\tag{5}$$

Průměr nálitku u paty:

$$\begin{aligned}D_{patní} &\geq 2,5 \cdot D \\D_{patní} &\geq 10mm \\ \underline{D_{patní_{skuteč}} &= 10,3mm}\end{aligned}\tag{6}$$

Střední vnitřní průměr nálitku:

$$\begin{aligned}D_i &\geq 0,8 \cdot D \\D_i &\geq 3,2 \\ \underline{D_{i_{skuteč}} &= 3,3mm}\end{aligned}\tag{7}$$

Jelikož se jedná o předběžné výpočty, musely se hodnoty z výsledků ověřit. Celá sestava světlometu byla několikrát podrobena vibrační analýze, lokálně i pevnostní kontrole. Některé rozměry se upravovaly i kvůli požadavkům na výrobu. Dalším faktem nahrávající správnosti navržených rozměrů je porovnání nálitku s předchozími projekty, které jsou již ve výrobě či provozu.

3.4.3 Postup návrhu reflektoru

V této kapitole je popsán postup při vývoji samotného tělesa reflektoru. Vlivů, které ovlivnily vývoj konstrukčního řešení bylo mnoho. Postupně vznikala řada variant reflektoru, některé se lišily více, některé méně. V průběhu vývoje světloometu vznikaly nové požadavky, nebo omezení, které ovlivňovaly jeho tvar. Koncepce zůstávala víceméně stejná. První podkapitola schématicky popisuje postup sestavování 3D modelu reflektoru.

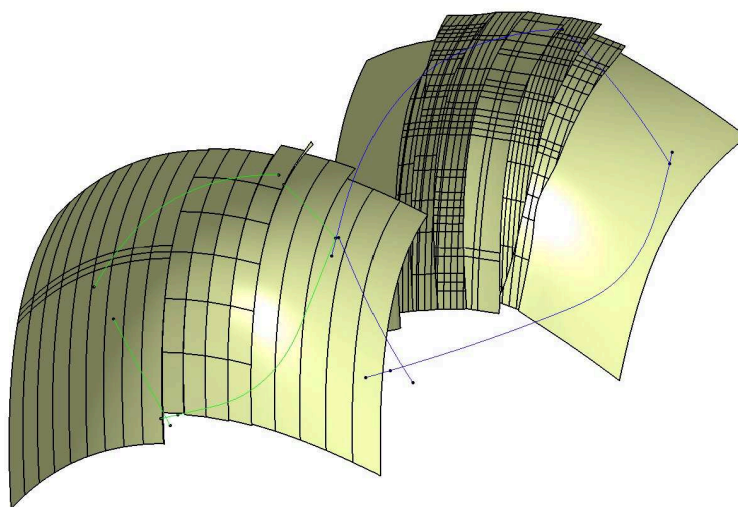
Další podkapitola se zaměřuje přímo na varianty reflektoru. Vybral jsem jich několik, zejména které se od sebe výrazněji liší. Jsou zde popsány důvody, proč daná varianta vznikla a výsledky řešení nové verze.

Poslední podkapitola podrobně popisuje finální verzi reflektoru.

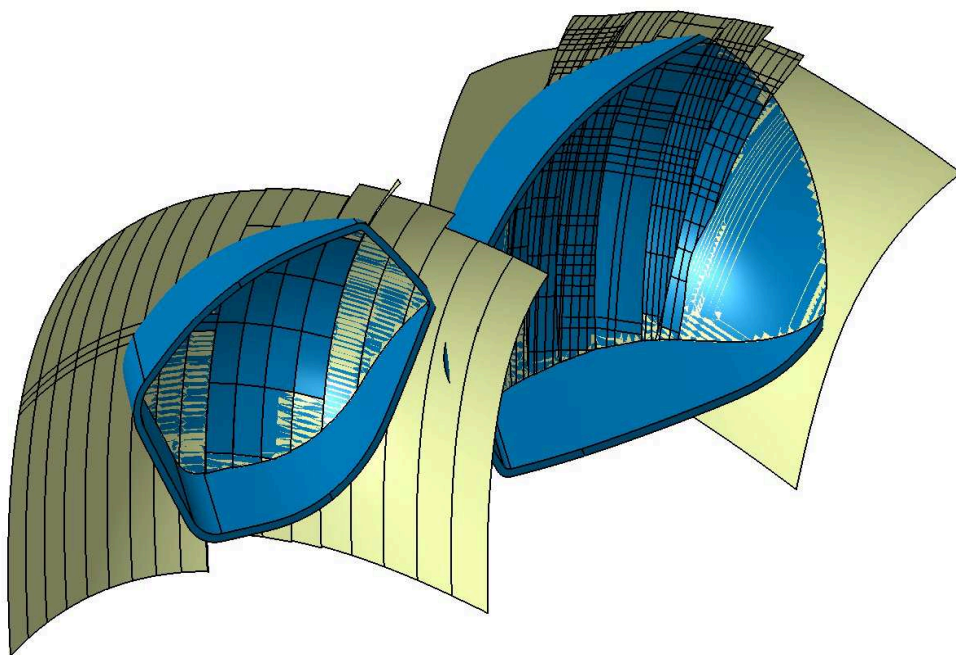
3.4.3.1 Postup tvorby 3D modelu reflektoru

Prvními vstupními daty jsou optické plochy, které připravují optici. Existují dvě varianty optických ploch.

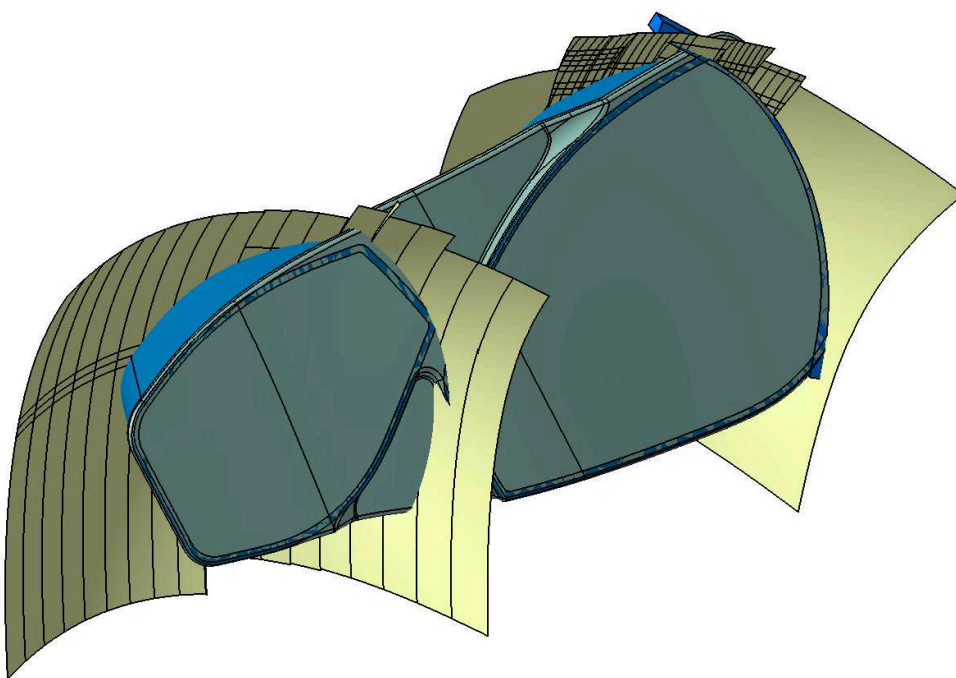
- a) **Funkční** – tyto plochy jsou navrhovány optiky tak, aby byly splněny nutné fotometrické vlastnosti reflektoru.
- b) **Falešná** – skládá se ze zjednodušených ploch, které jsou tvarově velmi podobné těm skutečným funkčním. Falešná optika se používá pro exportní data odesílaná zákazníkovi ke kontrole (zákazník schvaluje daný díl, nebo vůči němu vznáší námitky a připomínky). Falešná optika není funkční a nesplňuje požadované fotometrické vlastnosti.



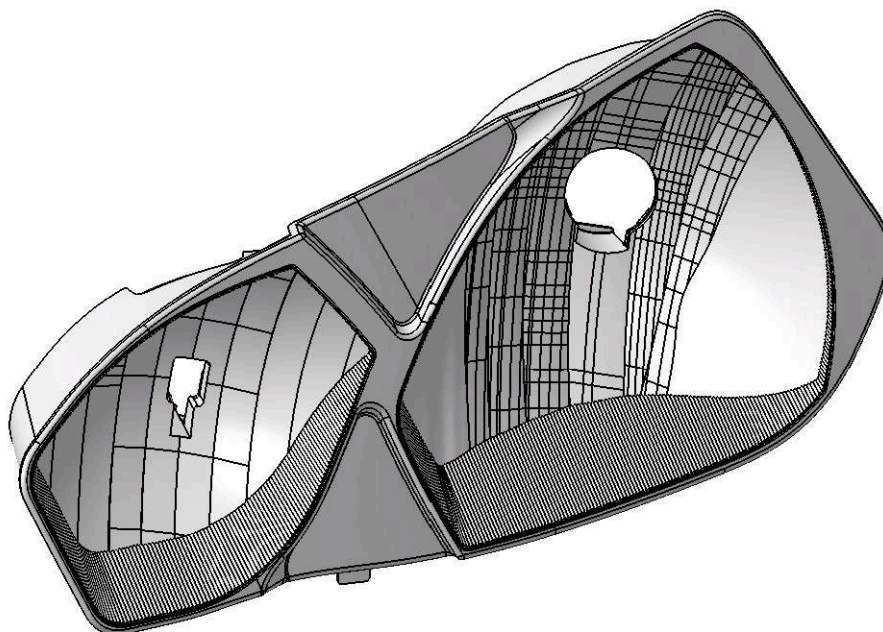
Obr.40 – Funkční optické plochy pro obě komory reflektoru. Modré a zelené křivky jsou obrysy nově vznikajících komor reflektoru (vycházejí ze stylových dat).



Obr.41 – Komory LB a HB. Z křivek zobrazených na předchozím obrázku se “vytáhly” stěny reflektoru pod úhlem odpovídajícím požadavkům na konstrukci dílů z termosetu BMC. Při modelování je nutno určit směr lisování. Od něj se pak musí všechny stěny modelovat v patřičných úhlech, nikdy ne rovnoběžně se směrem lisování. Zadní stěnu ohraničující komoru tvoří optické plochy a jejich “offset” (odsazení) o požadovanou tloušťku.



Obr.42 – Spojení obou komor reflektoru čelní stěnou do jednoho monolitu. Pomocí Booleovských operací (zde funkce TRIM) vznikne těleso reflektoru.

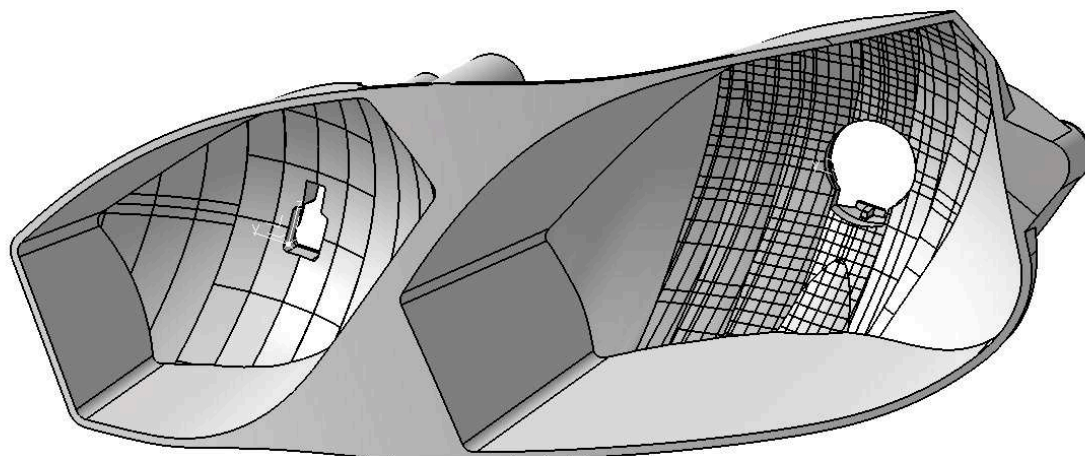


Obr.43 – Hotový model reflektoru (na obrázku verze č.008). K základnímu tělesu reflektoru jsou opět pomocí Booleovských operací připojeny různé “features“ (objímky Easyfit, nálitky, vyztužovací žebra apod.) a vytvořené fluty podle zadaných parametrů.

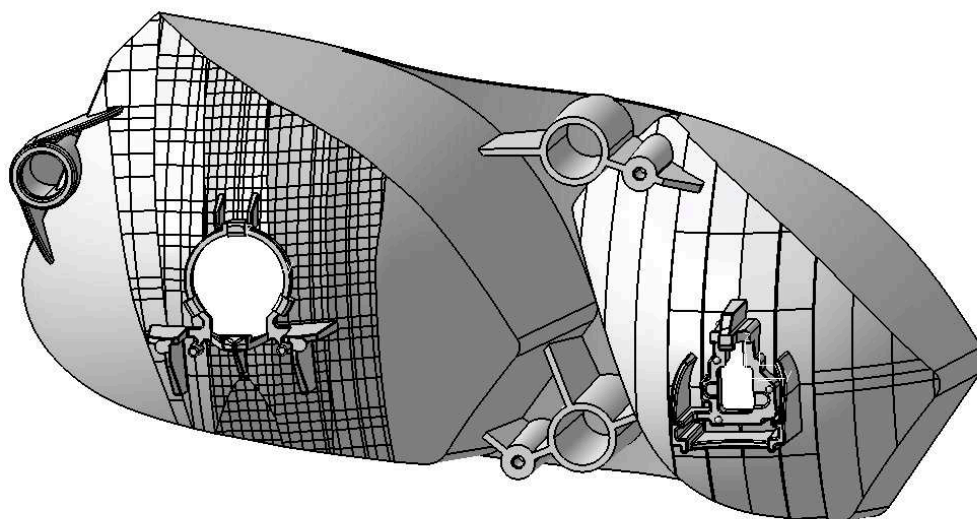
3.4.3.2 Vývoj jednotlivých variant reflektoru

V předchozí kapitole je popsán postup modelování a vznik reflektoru. Při jeho úpravách ze starší verze na novou se upravovaly zmíněné části modelu kvůli různým důvodům, zejména pro nevyhovující výsledek vibračních, teplotních a optických simulací, nebo kvůli vzhledovým nedostatkům, které se nelíbily zákazníkovi.

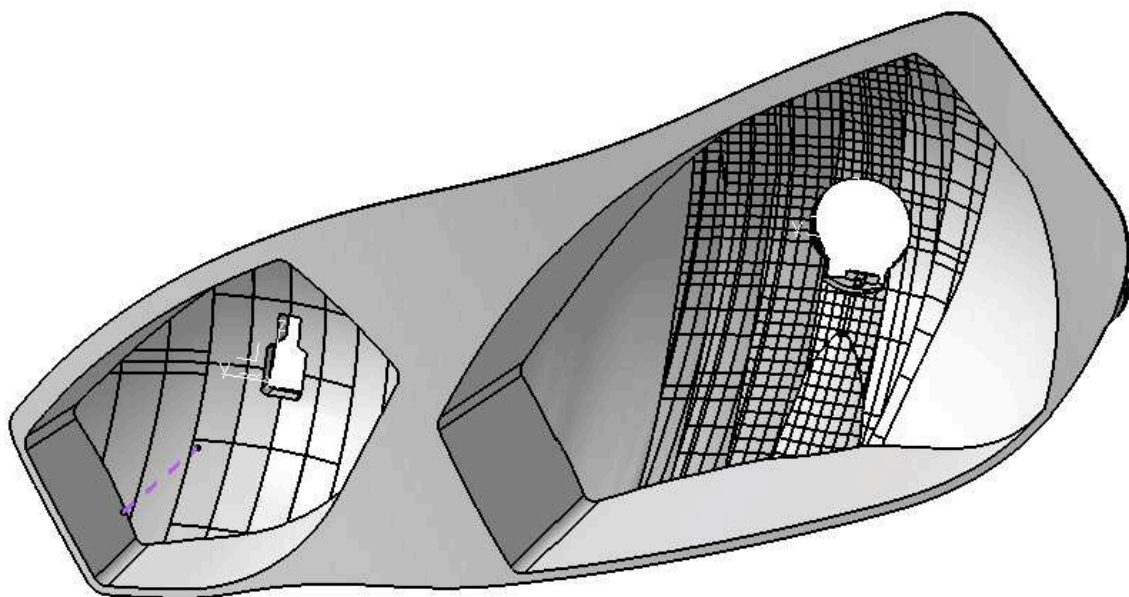
Velkým problémem v tomto projektu byla vysoká teplota sálající ze žárovek – tento problém je rozepsán u konkrétních variant reflektoru. Teplo neovlivňovalo samotný reflektor, ale krycí sklo, krycí rámeček a tělo světlometu. U prvních variant reflektoru ale dělaly problémy i vibrační simulace. První verze měly poměrně vysokou hmotnost. V kombinaci s méně vhodným tvarem bracketu (viz. 3.3.4.1 Vývoj tvaru bracketu – První varianta) byly výsledky neuspokojivé. Proto docházelo k optimalizaci tvaru reflektoru, aby se hmotnost co nejvíce snížila. Taktéž se měnily pozice upevnění.



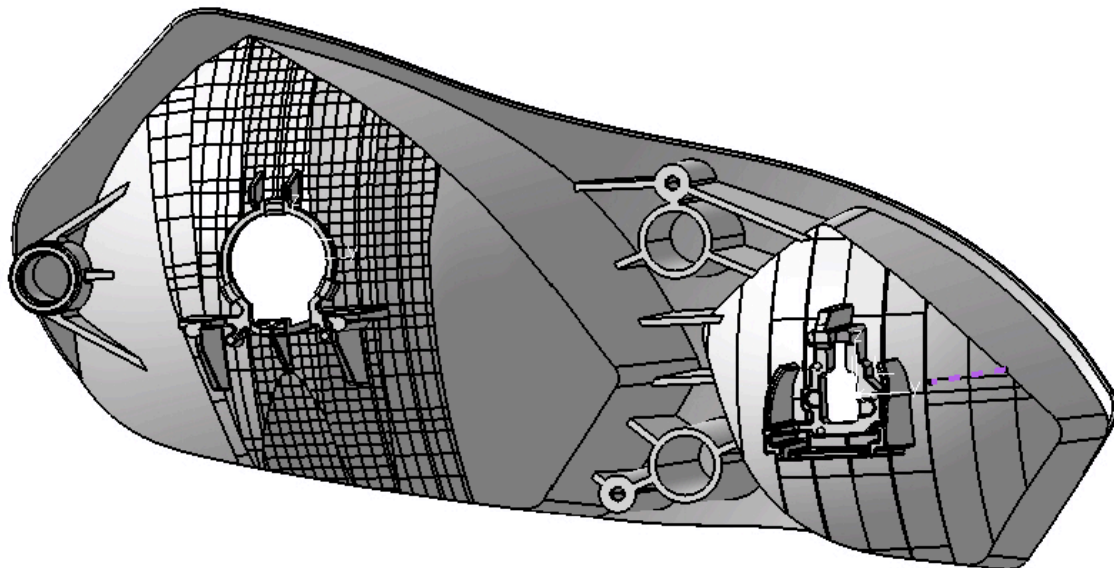
Obr.44 – Přední pohled na první verzi reflektoru. Čelní plocha je poměrně jednoduchá. Celkový tvar reflektoru se posléze měnil. Je běžnou praxí, že v průběhu vývoje se nedodělávají díly až do výrobitelné fáze, např. některé hrany jsou ostré (absence méně podstatných zaoblení) apod. Činí se tak z důvodu vysoké pravděpodobnosti, že se díl bude dále modifikovat. Pro vývoj však některé prvky nemají význam a proto na pracovních verzích chybí (viz. zaoblení). Navíc, kompletně vymodelovaný díl je náročnější pro hardware a ztěžuje tak práci s ním.



Obr.45 – Zadní pohled na první verzi. Na obrázku je patrné pouze základní rozvržení funkčních částí, jako jsou např. nálitky pro lokaci a upevnění bracketu.



Obr.46 – První viditelná změna oproti první verzi je rozšíření čelní stěny o tzv. “flange” – lemový okraj okolo dílu. Druhá je zmenšení komory dálkového světla.

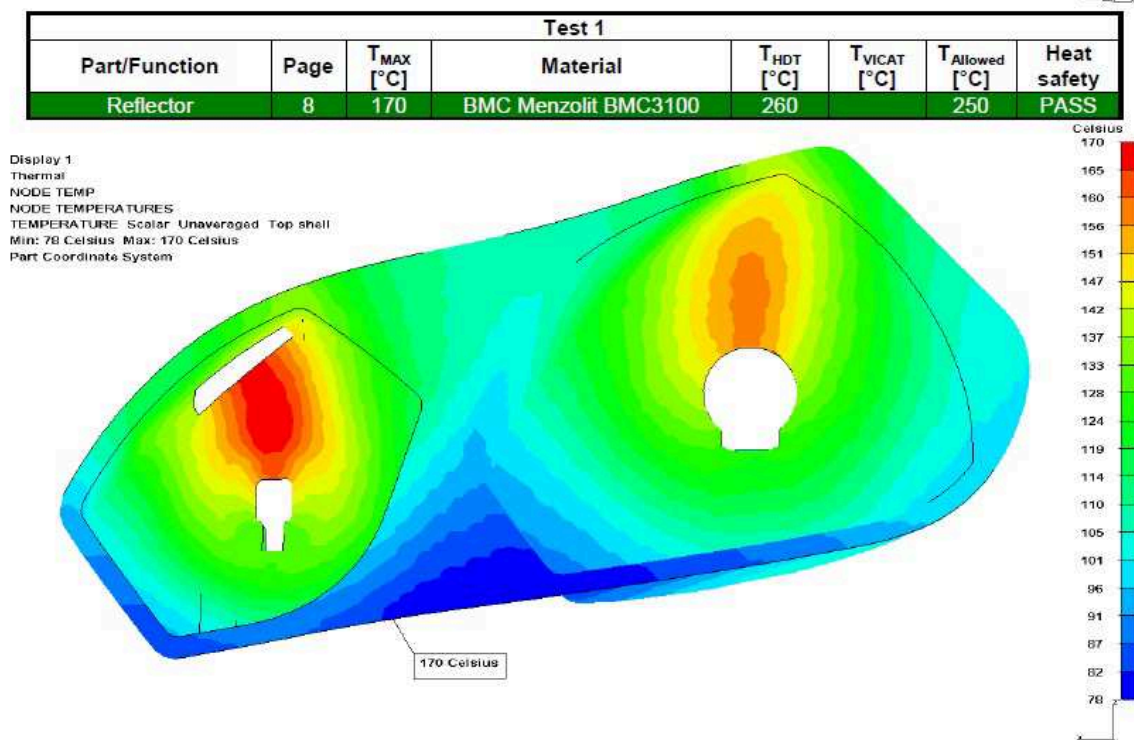


Obr.47 – Vibrační simulace ukázaly, že první varianta nebyla vhodná. Na zadní straně se měnily pozice nálitků pro upevnění druhé verze bracketu a lůžka pro kulový čep. Změnilo se tím uložení reflektoru do tělesa světlometu a tím pádem i kinematika seřizovacího zařízení. Taktéž došlo vyztužení žebry mezi komorami.

Verze 008

Od třetí verze k osmé byly změny málo viditelné, týkaly se zejména optimalizace vyztužení žebër kvůli dosažení vyšší tuhosti tělesa reflektoru apod. Proto jsem od jejich popisu upustil. Razantnější a významnější změny se udály u této verze.

Jak bylo zmíněno v úvodu kapitoly, dlouhodobým problémem bylo teplo sálající od žárovek. Termoset BMC, který byl vybrán jako materiál reflektoru je velmi odolný vůči teplotnímu zatížení (dokáže odolat teplotě až 250°C). Proto se samotným dílem reflektoru z hlediska tepla nevznikaly žádné problémy. To se ovšem nedalo říci o ostatních dílech světlometu v blízkosti reflektoru, které jsou navrženy z podstatně tepelně méně odolných materiálů (PC, PP-TD-40 atd.). Početnými úpravami teplem zasažených dílů se situace zlepšila jen málo. Nejvíce ovlivněnou částí světlometu byla oblast před komorou dálkového světla, hlavně krycí rámeček. Řešení z pohledu reflektoru přinesl odvod tepla z komory HB. V horní části komory se nachází výřez, kterým se ohřátý vzduch odvádí pryč a tím dochází k menšímu ohřívání krycího rámečku. Řešení problému s přehřátým rámečkem však přineslo druhý problém, a to přehřáté tělo světlometu. Výřezem sálalo teplo přímo na stěnu nad reflektorem a nepříznivě ho teplotně ovlivňovalo. Proto bylo nutné tělo světlometu taktéž upravit.

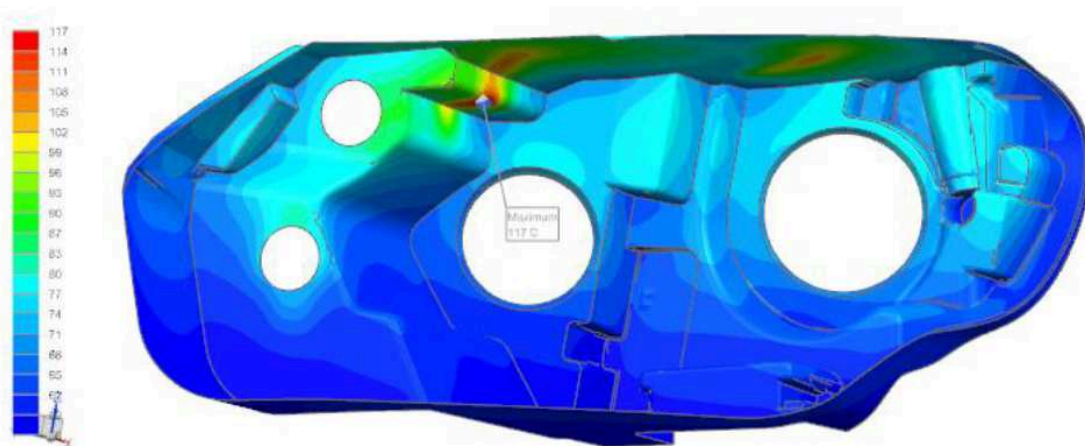


Obr.48 – Teplotní simulace: $T_{max} < T_{dovol.}$, tzn. že jsou podmínky splněny.

Test/Specification		PSA B25 7110 M				
Ambient temp.		55 °C				
Test 1 Night – variant A						
Function	Bulb	Nominal power at 13.5 V [W]	Filament direction	Turn on/off [s]	Power load	
					[%]	[W]
HB	H1	68	x direction	On	100	68
LB	H7	58	x direction	On	100	58
Position	P21/5W	6.60	Vertical	On	100	6.60
Turn	PY21W	26.50	Vertical	Flash.	55	14.58

Tab.5 – Vstupní hodnoty tepelných zdrojů při teplotních simulacích.

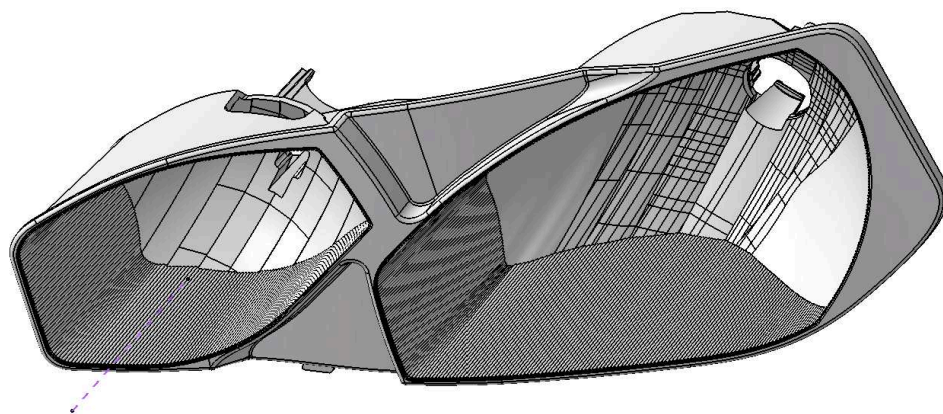
Test 1							
Part/Function	Page	T _{MAX} [°C]	Material	T _{HDT} [°C]	T _{VICAT} [°C]	T _{Allowed} [°C]	Heat safety
Housing	6	117	PP-TD40 Innopol CS1-4140 BAP	120	152	113	RISK



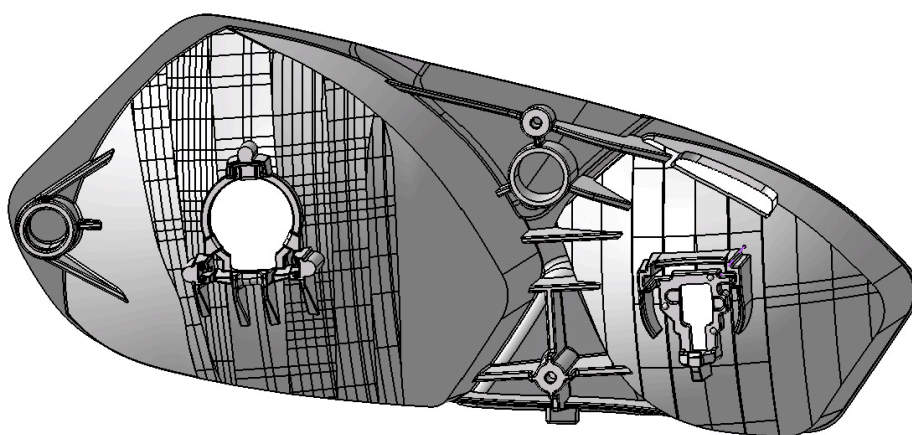
Obr.49 – Teplotní simulace. Z obrázku lze vyčíst, že těleso světlometu je nepříznivě ovlivněno teplem unikajícím z komory dálkového světla. Nad komorou LB se také nachází tepelně ovlivněná oblast, není však tak markantní jako nad HB. Nejvyšší zjištěná teplota je $T_{MAX} = 117^{\circ}\text{C}$, přičemž dovolená je pouze 113°C . Při provozu vozidla by mohlo dojít k degradaci materiálu ovlivněné stěny, proto jsou další úpravy dílu žádoucí.

Dalším novým prvkem na reflektoru jsou fluty. Nacházejí se na vnitřních stěnách komor LB i HB. Plní funkci vzhledovou. Jako technologie výroby negativu flutů ve formě byla z počátku vybrána metoda třískového obrábění - frézování. Proto se mezi jednotlivými fluty nenacházelo zaoblení, které je např. u metody elektroerozivního obrábění.

U čelní plochy vznikl “propad“, který způsobil snížení výšky nálitků na zadní straně – jejich stěny u základny byly příliš silné kvůli nutnému zkosení min. 2° a tím by mohlo dojít k problémům při procesu vstřikování a pokovení. Nálitky se opět přemístily, aby korespondovaly s novým tvarem bracketu. Vyztužení žebry je oproti předchozím verzím vylepšeno – zajišťuje lepší tuhost reflektoru a je výhodnější z hlediska výrobních postupů. Novým prvkem je také výstupek v dolní části mezi komorami LB a HB. Slouží pro uchycení dílu do nosného rámu při lakování.



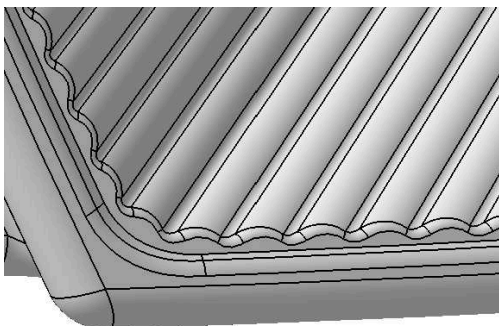
Obr.50 – Čelní pohled na verzi č.8. Největší patrnou změnou je přidání flutů a snížení čelní stěny mezi komorami LB a HB.



Obr.51 – Zadní pohled na verzi č.8. Nálitky a žebra jsou poupraveny.

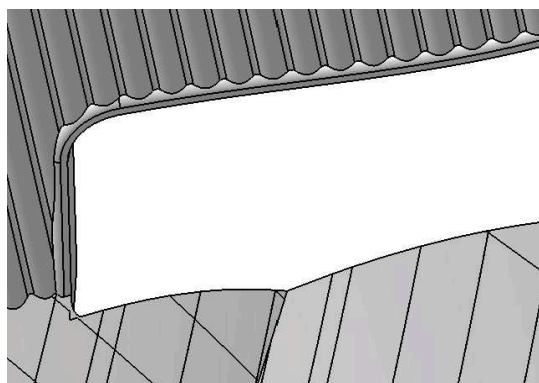
3.4.3.3 Verze 010

Poslední vývojovou fází reflektoru zmíněnou je verze 010. Došlo k řadě úprav. Byl přidán nový otvor v horní části komory LB pro odvod tepla, stejně jako je u předchozí varianty u HB komory. Změnil se také vzhled flutů – optimalizoval se jejich tvar a doplnila se vnitřní zaoblení mezi jednotlivými fluty. Ta předtím nebyla mezi fluty nikde, jelikož se uvažovalo při výrobě formy s třískovým obráběním. Zjistilo se ale, že jsou některé plochy flutů jen velmi obtížně vyrobitelné se značným opotřebením velmi malé frézy a některé přímo nevyrobitelné. Proto se zvolila metoda elektroerozivního obrábění (jiskření), kde je ale nutné minimální zaoblení kvůli technologickým požadavkům na výrobu.



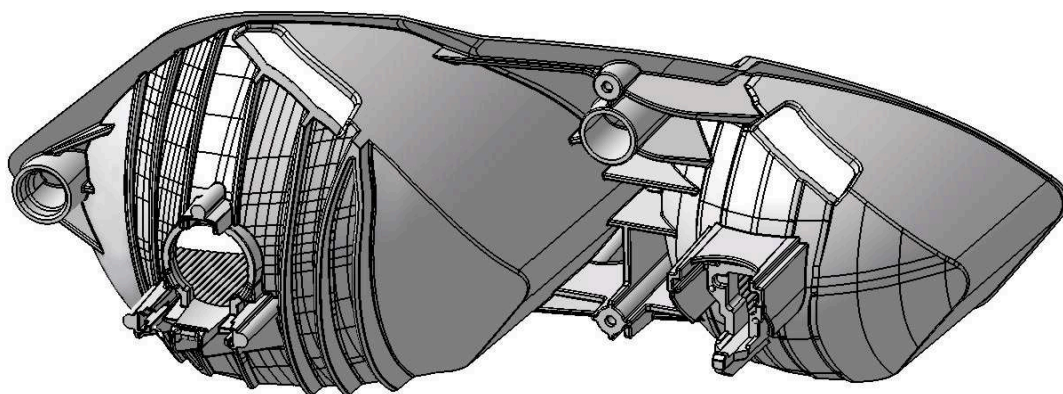
Obr.52 – Optimalizace tvaru flutů kvůli obrábění “jiskřením”.

Další úprava se týká otvorů pro odvod tepla. V kombinaci s fluty tvoří dělicí rovina v této oblasti nevhodný tvar z hlediska lakování a pokovení (hrubé očišťování přetoků, poškození flutů apod.). Jednoduchá úprava ostré hrany do volného zaobleného přechodu tento problém vyřešila.

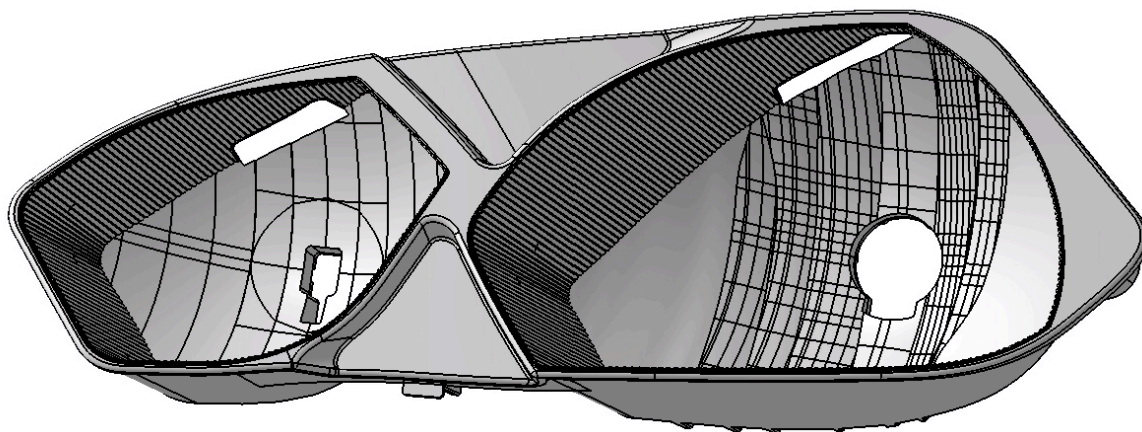


Obr.53 – Úprava hrany otvoru pro odvod tepla.

Na zadní straně reflektoru se přidalo další žebrování, a to na komoře LB. Toto žebrování má za úkol zvýšit tuhost komory vzhledem k možným deformacím při vysokých teplotách. I když je materiál BMC teplotně velmi odolný, přesto může dojít při delším provozu světlometu k výraznému prohnutí reflektoru a tím i k různým deformacím, např. zkroucení. Výztužná žebra na zadní straně by tomuto kroucení měly zabránit. Taktéž došlo k úpravě objímky pro Easyfit H7. Podrobný popis úprav a jeho příčin je rozepsán v kapitole 4.2 *Objímka pro Easyfit H7*.



Obr.54 – Pohled na zadní stěnu reflektoru verze 010. Přibylo výrazné žebrování na komoře LB a objímka pro Easyfit H7 prošla úpravami pro lepší lakování při výrobě.



Obr.55 – Pohled na čelní stranu reflektoru verze 010. Obě komory jsou opatřeny finálními funkčními optickými plochami.

4 Lakování reflektoru

Reflektor z materiálu BMC se po vystříknutí a vytažení z formy dále upravuje. Vzhledem ke struktuře zmíněného termosetu je nutno na povrch reflektoru nanést vrstvu laku kvůli pokovení. BMC je pórovitý materiál a povrch stěn výstřiku proto není rovný. I když se bavíme o mikroskopických nepřesnostech, na pokovení mají nežádoucí vliv. Díky lakování se zalijí póry, povrch stěn se sjednotí a vyhladí a tím se sníží jeho smáčivost. Jakost pokoveného povrchu a odrazivost by byla bez lakování nevyhovující.

4.1 Technologie lakování

Existují dvě základní technologie lakování. Každá má svá specifika a různá omezení. Před lakováním je nutno reflektor technologicky připravit. Po vyjmutí z formy se výstřik zbaví přebytečných přetoků materiálu a upevní se do stojanu (konstruovaný pro větší množství výstřiků). Reflektory se následně oplachují, odmašťují a následně vysouší v sušičce. Poté putují do lakovacího zařízení.

Stříkání – tuto technologii lakování využívá např. výrobce osvětlovací techniky Hella Autotechnik. Pracuje na principu nástřiku laku na výrobek v rovnoměrných vrstvách.

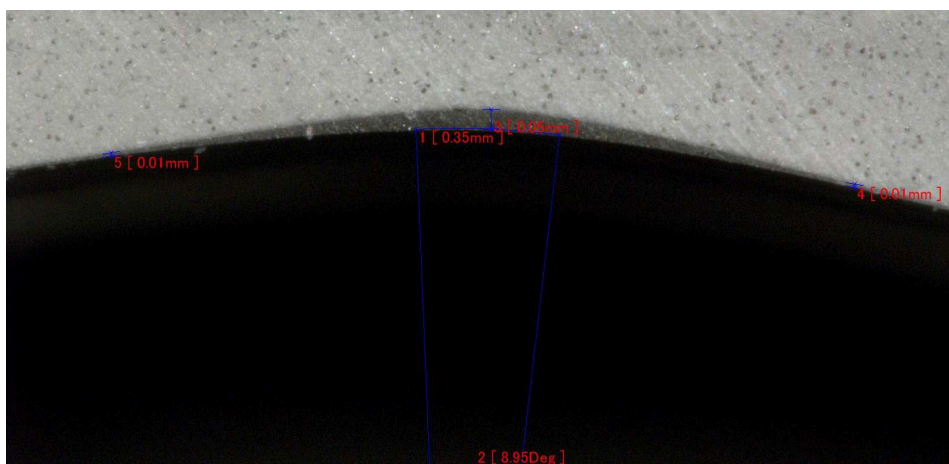
Polévání – podnik, ve kterém pracuji, Varroc Lighting Systems - Nový Jičín, pracuje s touto technologií. Velké držáky na lakované díly se upevní do rotačního zařízení, které následně projíždí skrz lakovací stroj, kde se nachází množství “stěn” stékajícího laku. Ten vytéká z děr umístěných těsně vedle sebe v jedné řadě v horní části lakovací komory. Tím vzniká jakási stěna z laku, kterou pomalu projede rotující výrobek. Část laku se na něm uchytí, přebytečný lak stéká do dolní části komory, odkud dále cirkuluje.

Stékání laku je ovšem problematické. Tím, že po stěnách teče ve velké vrstvě, dochází k nerovnoměrnému polakování povrchu. Zejména na tvarově složitých místech reflektoru se usazuje v různých vrstvách a je náročné určit, jaká zde bude výsledná tloušťka laku. Tento problém lze řešit experimentálně, kdy se provedou měření nelakovaného a lakovaného výstřiku.

4.2 Objímka pro Easyfit H7

Z předchozích projektů se zjistilo, že existuje problém s komorou tlumeného světla, které je opatřeno žárovkou H7. Fotometrické vlastnosti se neshodovaly s výpočty a simulacemi na rozdíl od žárovky H1 pro dálkové světlo. Bylo provedeno několik měření na podobných reflektorech s identickou, nebo podobnou objímkou pro systém Easyfit pro H7. Vznikly dvě hypotézy, které vysvětlovaly daný problém.

První hypotézou je změna tvaru funkčních optických free-form ploch díky lakování. Jelikož je lak kapalina, tak jedna z jeho vlastností je povrchové napětí. Díky němu se lak usazuje na různě tvarovaném povrchu nerovnoměrně. Zejména rohy s malým nebo žádným zaoblením vytváří velkou kumulaci laku. To je případ i přechodu jednotlivých funkčních optických ploch viz. Obr.56, kde lak vytváří větší rádius přechodu, než s jakým je počítáno při návrhu optiky.



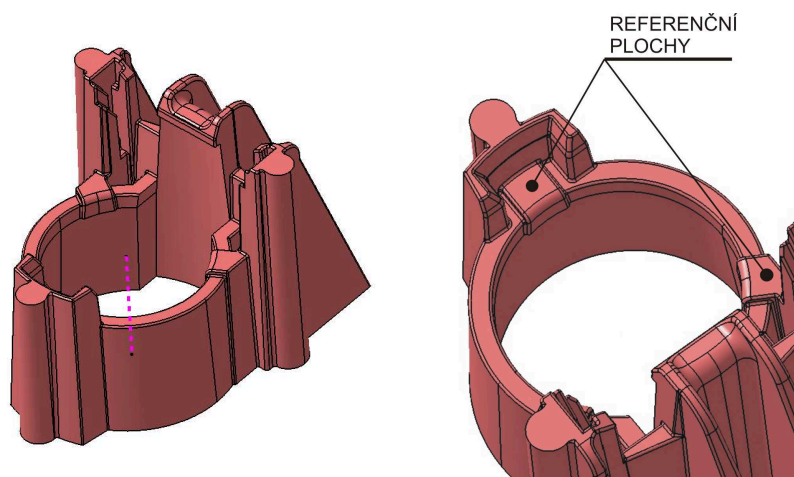
Obr.56 – Mikroskopický snímek řezu optické plochy. Za povšimnutí stojí kumulace laku v místě protnutí fazet a pórovitost materiálu.

Po konzultaci s optiky byla ale tato hypotéza vyvrácena. Z naměřených dat vyplývá, že vrstva laku na optických plochách výrazněji neovlivňuje fotometrické vlastnosti reflektoru a proto se pozornost zaměřila na druhou hypotézu. Ta říká, že nerovnoměrná vrstva laku na referenčních plochách objímky pro patici žárovky vychyluje osu žárovky a tím i její ohnisko. Bylo provedeno jedno měření na základě 3D skenování lakovaného reflektoru se zmíněnou objímkou (Příloha 5), a druhé pomocí mikroskopického měření vybroušeného řezu lakovaného reflektoru.

Ze snímků řezu je patrné, že tvar lakované plochy má vliv na následnou tloušťku laku. Zejména přechody mezi stěnami, které jsou řešeny malým zaoblením nebo ještě hůře ostrými hranami, tvoří na rovinných stěnách za přechodem (hranou) “kopeček” laku,

viz. Přílohy 3 a 4. Tento fakt nahrává pravdivosti této hypotézy, protože referenční plošky objímky jsou tvořeny třemi malými výstupky s poměrně malým zaoblením. A jelikož lak stéká pod určitým úhlem (záleží, jak je reflektor natočen při projíždění stěnou laku), může docházet k nerovnoměrnému lakování referenčních ploch. Vznik kopečků laku kvůli zaoblení má sám o sobě vliv, i kdyby byly všechny tři stejně tlusté. Posune totiž ohnisko v ose žárovky (v dohodnutém osovém systému osa X – směr jízdy) cca o **0,15mm**, což už má vliv na optiku.

Druhý typ měření, 3D skenování, potvrdil nerovnoměrnost rozložení laku na referenčních ploškách (Příloha 5), přičemž dvě z nich mají stejný tvar, třetí je odlišná (viz. Obr.57). Bylo tedy nutné vypočítat, zda různá tloušťka laku, i přes svou malou tloušťku, má vliv na vychýlení ohniska žárovky.



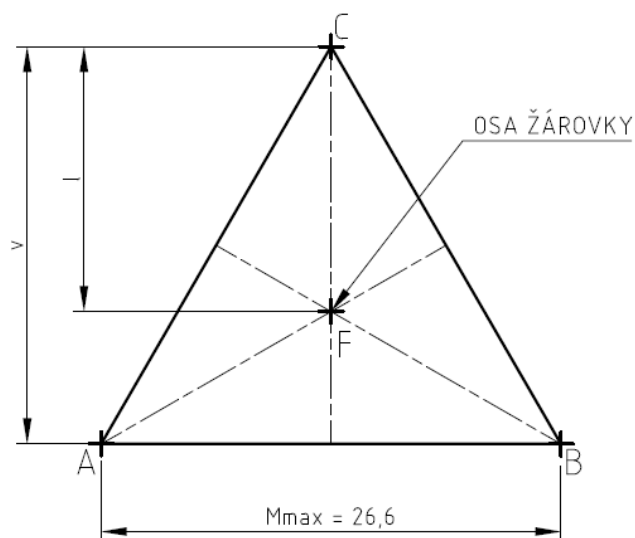
Obr.57 – Feature Easyfit H7 – objímka. Na vyznačených referenčních plochách se tvoří větší vrstva laku. Zakroužkovaná plocha má rozdílnou tloušťku polakování díky špatnému odtoku přebytečného laku. Růžová přerušovaná čára je směr lisování a zároveň osa žárovky H7.

4.2.1 Hypotéza o vlivu nerovnoměrnosti lakování objímky – výpočet

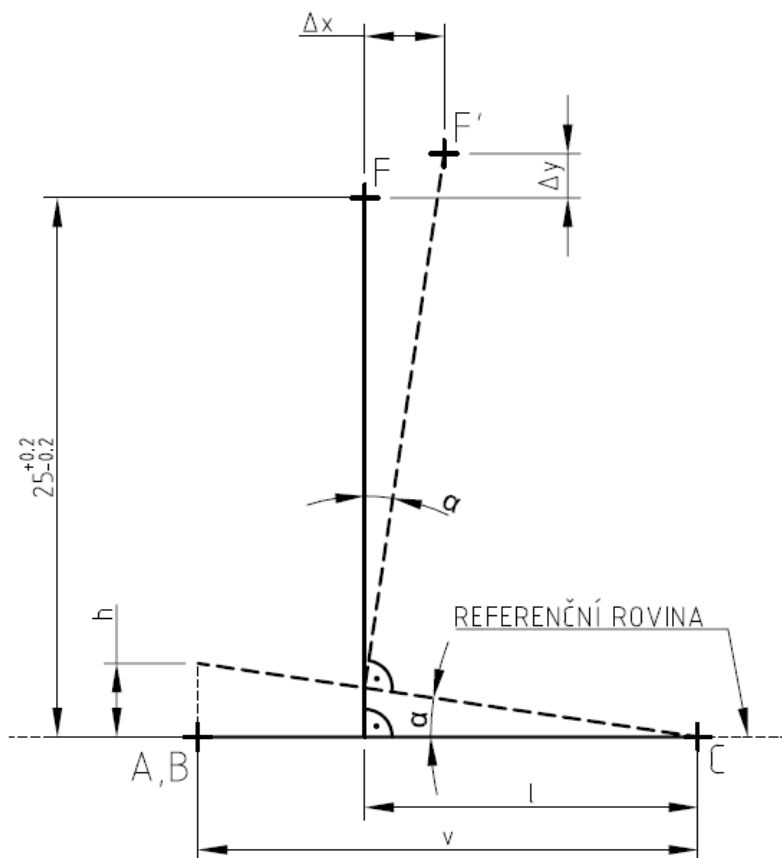
Z výsledků měření bylo potvrzeno, že vrstva laku na referenčních plochách pro patici žárovky je rozdílná. Bylo potřeba zjistit pomocí výpočtu, zda rozdílnost tloušťek laku na referenčních rovinách způsobí nahnutí žárovky a tím i vychýlení ohniska žárovky v takové míře, aby výchylka ovlivnila odraz světla od optických ploch reflektoru.

Při výpočtu jsem uvažoval středy referenčních rovin jako vrcholy rovnostranného trojúhelníku. Těžištěm trojúhelníku prochází osa žárovky, na jejímž konci se nachází

ohnisko žárovky. Rozměry trojúhelníku a vzdálenost těžiště od referenční osy určuje norma ČSN 36 0340. [10]



Obr.58 – Schéma referenčních bodů. Body A,B a C znázorňují dosedy patice na referenční plochy objímky (jedná se o zjednodušení, styk je ve skutečnosti lineární, nikoliv bodový – na výpočet to ale nemá velký vliv).



Obr.59 – Schéma vychýlení osy žárovky a ohniska F.

Cílem výpočtu je určit posunutí ohniska žárovky F a na základě výsledku potvrdit nebo vyvrátit pravdivost hypotézy. Do výpočtu vstupují tři proměnné – různé výšky laku na referenční ploše objímky. Jelikož existuje velké množství různých variant, které mohou nastat (různé tloušťky laku na plochách), určil jsem si pro výpočet jednu z nich.

Posuzoval jsem extrémní situaci, kdy dvě z plošek budou rovnoměrně polakovány s tloušťkou laku $h_{lak} = 0,25mm$ (při skenování měly tyto plochy skutečně téměř stejnou tloušťku laku). U třetí plochy, která se tvarově odlišuje, jsem určil tloušťku laku $h_{lak} = 0,05mm$. Jedná se o poměrně krajní situaci, může však nastat.

Výška trojúhelníku v:

$$\begin{aligned} v &= M_{MAX} \frac{\sqrt{3}}{2} \\ v &= 26,6 \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \underline{v} &= \underline{23,04mm} \end{aligned} \tag{8}$$

Vzdálenost ohniska h od bodu C (poloměr kružnice opsané):

$$\begin{aligned} l &= M_{MAX} \frac{\sqrt{3}}{3} \\ l &= 26,6 \frac{\sqrt{3}}{3} \\ \underline{l} &= \underline{15,36mm} \end{aligned} \tag{9}$$

Naklonění referenční roviny:

$$\begin{aligned} tg \alpha &= \frac{h_{lak} - h_{lak}}{v} \\ tg \alpha &= \frac{0,25 - 0,05}{23,04} \\ \underline{\alpha} &= \underline{0,5^\circ} \end{aligned} \tag{10}$$

Posunutí Δy :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{\Delta y}{l} \\ \Delta y &= \operatorname{tg} 0,5^\circ \cdot 15,36 \\ \Delta y &= 0,134 \text{ mm} \end{aligned} \quad (11)$$

Pozn. Výsledek není skutečné posunutí v ose y. Není zde započítána rotace kolem bodu C. Provedl jsem i grafické řešení, kde byl výsledek $\Delta y = 0,133 \text{ mm}$. Rozdíl je natolik zanedbatelný, že jsem faktor rotace ve výpočtu neuvažoval.

Posunutí Δx :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{\Delta x}{25 + 0,2} \\ \Delta x &= \operatorname{tg} 0,5^\circ \cdot 25,2 \\ \Delta x &= 0,220 \text{ mm} \end{aligned} \quad (12)$$

Pozn. Hodnota ve jmenovateli je vzdálenost ohniska od referenční roviny plus maximální tolerance ohniska žárovky.

Výsledek ověření hypotézy

Posunutí ohniska žárovky při zvolených podmínkách je:

$$\Delta x = 0,220 \text{ mm}$$

$$\Delta y = 0,134 \text{ mm}$$

Při převedení na smluvený souřadnicový systém v automobilovém průmyslu (osa x odpovídá směru jízdy vozidla, osa z je kolmá na vozovku) jsou hodnoty posunutí:

$$\underline{x = -0,135 \text{ mm}}$$

$$\underline{y = -0,220 \text{ mm}}$$

Po konzultaci s optiky bylo potvrzeno, že výsledná změna polohy ohniska má vliv na fotometrické vlastnosti reflektoru. Hypotéza o vlivu nerovnoměrného lakování na z hlediska optiky významné vychýlení ohniska žárovky byla **potvrzena**.

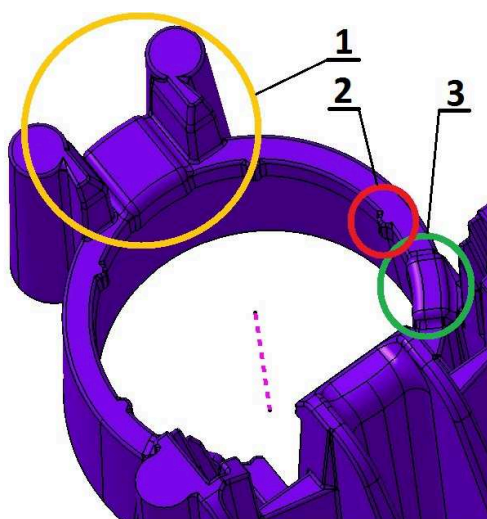
4.3 Řešení problému s lakováním v oblasti objímky Easyfit H7

Po konzultacích s odborníky z lakovny bylo rozhodnuto o úpravě objímky. Úpravy by měly předejít problémům s lakováním v tomto místě a zajistit lepší lokaci patice žárovky do objímky. Původní objímka je zobrazena na Obr.57. Její poloha je určena šesti malými ploškami. Tři fungují jako referenční rovina ve vodorovném směru, zbylé tři jsou po stranách průchozího otvoru – ty fungují jako vystředění osy žárovky. Všechny plochy mají plošný styk s paticí.

Cílem úpravy dílu bylo minimalizovat plošné styky, resp. docílit styků lineárních. Další úpravou byla optimalizace tvaru rizikové styčné plochy a jejího okolí z důvodu lepšího odvodu přebytečného laku. Vznikly čtyři verze nové objímky. Popíšu pouze dvě z nich, které postoupily do užšího výběru nové verze.

4.3.1 Verze C

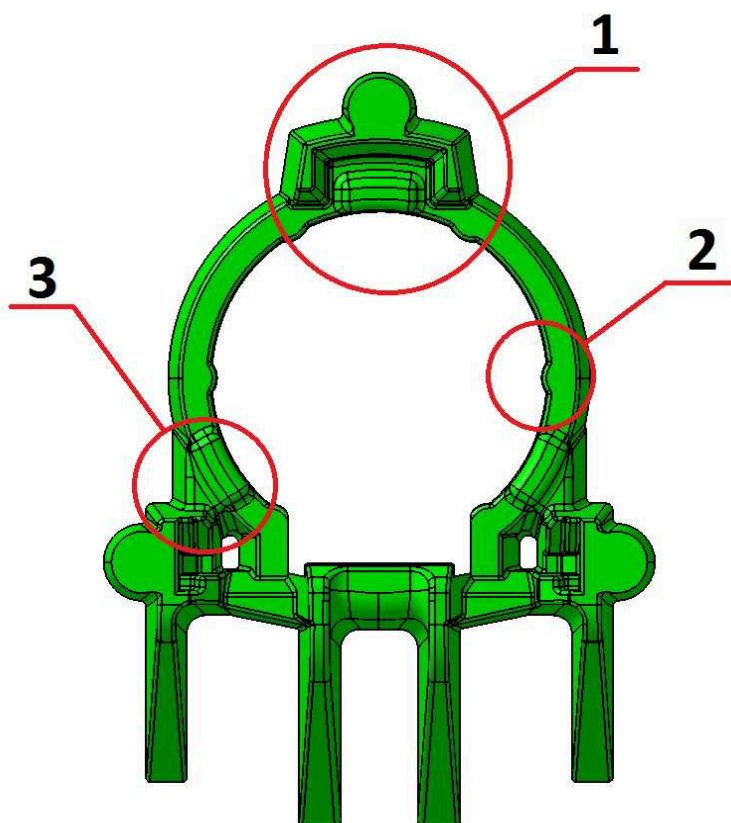
Jedná se o třetí vývojovou verzi. Došlo k úpravě výstupků s referenčními plochami. Zvětšil jsem poloměry zaoblení a zmenšil dosedací plochy. Rovinný přechod ploch do těla objímky byl odstraněn – v místě bývalého přechodu je vybrání pro odvod přebytečného laku. Odstranil jsem výztužný nálitek a čelní stěnu u třetí referenční plochy opět z důvodu odvodu přebytečného laku (v tomto místě se hromadil nejvíce) a nahradil jej dvěma komínky po stranách kvůli pevnosti objímky. Tři lokační plošky v otvoru byly „ořezány“ o 0,2mm – tím se jejich funkce lokace zrušila. Tuto práci převzalo šest nových výstupků, které mají s paticí žárovky lineární styk.



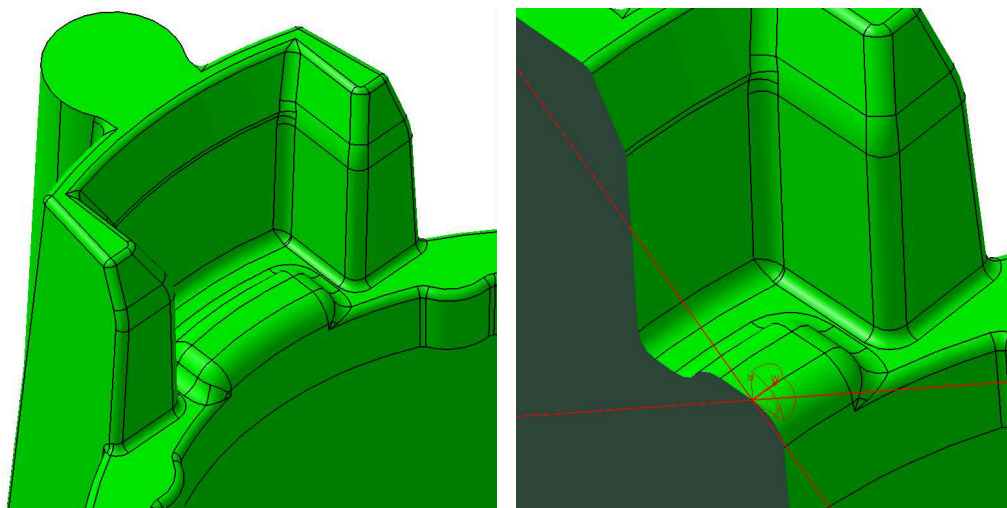
Obr.60 – Pozice 3 je nový referenční výstupek, pozice 2 lokační výstupek (6x) a 1 je zvýrazněno přidání jednoho nálitku a odstranění čelní stěny.

4.3.2 Verze D

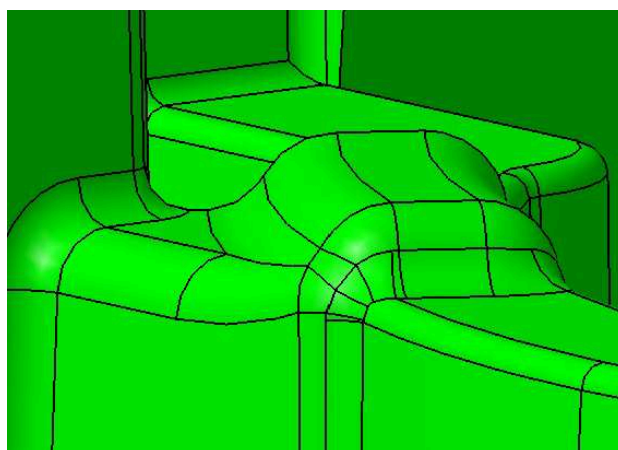
Poslední verze vychází z těch předchozích a nakonec jsem ji zvolil jako finální řešení pro konstrukci reflektoru. Oproti verzi C jsem se zde vrátil k pouze jednomu zpevňujícímu nálitku místo dvou z důvodu pevnosti. Dva nálitky měly paradoxně horší pevnostní vlastnosti, než jeden vyztužený stěnou do tvaru “U“. I když není tato část reflektoru nijak zvlášť namáhána, mohlo by dojít při výrobě k odlamování zmíněných nálitků. Problém s hromaděním laku v této oblasti byl vyřešen novým odvodovým kanálkem (Obr.62). Tři výstupky s referenčními plochami byly sjednoceny všechny do jednoho tvaru a zeštíhleny. Byly taktéž zarovnané s vnitřním otvorem z důvodu lepšího tvaru dělicí roviny a sníženy o 0,15mm. Funkci vystředění žárovky zastává opět šestice válcovitých výstupků, které díky svému tvaru vytváří minimální riziko nerovnoměrného lakování. Optimalizací se docílilo lepší lokace žárovky v objímce a mělo by dojít k zlepšení v oblasti lakování.



Obr.61 – Vrchní pohled na objímku Easyfit H7. Pozice 1 označuje nový odvodový kanálek přebytečného laku. Na pozici 2 je zvýrazněn jeden ze šesti výstupků určujících polohu patice žárovky. Pozice 3 označuje lepší vybrání pro lepší odtok laku. Detail pozice 1 a 3 je na Obrázcích 62 a 63.



Obr.62 – Pozice 1. Řez ukazuje nový kanálek pro odvod laku.



Obr.63 – Pozice 3. Vybrání opět z důvodu lepšího odtoku laku z výstupku.

5 Závěr

V úvodu práce se zabývám terminologií a různými typy žárovkových a výbojkových osvětlovacích technologií pro světlomety dopravních vozidel. Popisuji jejich princip, použití a konstrukci. Hlavní část práce je rozdělena do dvou velkých kapitol, a to Vývoj reflektoru a Lakování.

V první hlavní kapitole je nejprve popsána zvolená koncepce reflektoru a problematika jeho vývoje. Zmiňuji se o týmové spolupráci odborníků různých technických oborů a zařazuji svou pozici do posloupnosti vývoje. Následně popisuji různé druhy simulací a analýz, které byly při vývoji použity.

Samotný vývoj reflektoru je rozepsán do řady podkapitol. Každá z nich se zabývá určitou částí reflektoru nebo jeho příslušenstvím. Nejdříve řeším upevnění reflektoru do tělesa světloometu a jeho kinematiku, od čehož se vyvíjí další postup vývoje a konstrukce. Zmiňuji volbu materiálu a jeho klady a zápory, popis normalizovaných částí, jako jsou např. halogenové žárovky a princip systému Easyfit. Závěrečné podkapitoly řeší tvorbu 3D modelu a vývoj samotného tvaru reflektoru, jenž se v průběhu času několikrát měnil a vyvíjel do finální podoby. Popisuji zde různé příčiny a řešení problémů, které vznikaly v průběhu vývoje.

Druhá hlavní kapitola se zabývá lakováním a jeho vlivem na fotometrické vlastnosti reflektoru. Nejdříve jsem analyzoval, kde mohou být příčiny rozdílu mezi hodnotami ze simulací a skutečnými naměřenými hodnotami ze zkoušek vyrobených reflektorů u předchozích podobných projektů firmy Varroc. Na základě měření a výpočtu jsem potvrdil hypotézu o vlivu nerovnoměrné vrstvy laku na referenčních plochách objímky Easyfit H7. Navrhl jsem řešení, u kterého jsem se domníval, že by mohlo problém odstranit. Po konzultaci s firemními odborníky na optiku a lakování se mé řešení zavedlo do výrobního programu.

6 Použitá literatura a zdroje

- [1] Scheinwerfer. 2005. Dostupné z:
<http://www.portmanns.ch/Unterricht/Elektro/Fahrzeugel/Scheinwerfer.pdf>
- [2] ŠKODA AUTO A.S. *Vývoj a konstrukce světlometů*. 2007. Dostupné z:
http://www.fm.tul.cz/files/projektme/Vyvoj_a_konstrukce_svetlometu_28.3.07.pdf
- [3] *Autolexicon.net* [online]. 2013[cit. 2014-05-08]. Dostupné z:
<http://cs.autolexicon.net/>
- [4] Polyoxymethylen. TOMIRTECH. *Tomirtech* [online]. 2012 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.tomirtech.sk/produkty/technicke-plasty/polyoxymetylen>
- [5] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Ostrava: SEKURKON, informační a vzdělávací servis. ISBN 80-86604-18-7.
- [6] *BMC material* [online]. 2010 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.bmc-mould.net/BMC-material/BMC-material.html>
- [7] Menzolit BMC 3100. *MatWeb: MATERIAL PROPERTY DATA* [online]. 2011 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/search/datasheettext.aspx?matguid=39491ac2f6f744e680540a723e628037>
- [8] ORGANIZACE SPOJENÝCH NÁRODŮ. E/ECE/234-E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.36/Rev.5. *Dohoda o přijetí jednotných technických pravidel pro kolová vozidla, zařízení a části, které se mohou montovat a/nebo užívat na kolových vozidlech a o podmínkách pro vzájemné uznávání homologací, udělených na základě těchto pravidel: Předpis č.37/Revize 7 - Jednotná ustanovení pro homologaci žárovek k užití v homologovaných celcích svítilen/světlometů motorových vozidel a jejich přípojných vozidel*. Ženeva: OSN, 2013.
- [9] ČSN 36 0340. *Objímka pro automobilové žárovky P14,5s*. IEC Publikace 61-2(H), 1987.
- [10] ČSN 36 0340. *Objímky PX26*. IEC 61-2(Q), 1996.

7 Seznam příloh

Obrázky:

- 1 - Optické simulace LB - 1
- 2 - Optická simulace LB - 2
- 3 - Mikroskopický snímek řezu lakovaného dílu 1
- 4 - Mikroskopický snímek řezu lakovaného dílu 2
- 5 - Snímek ze 3D skenování objímky Easyfit H7
- 6 - Kinematika reflektoru

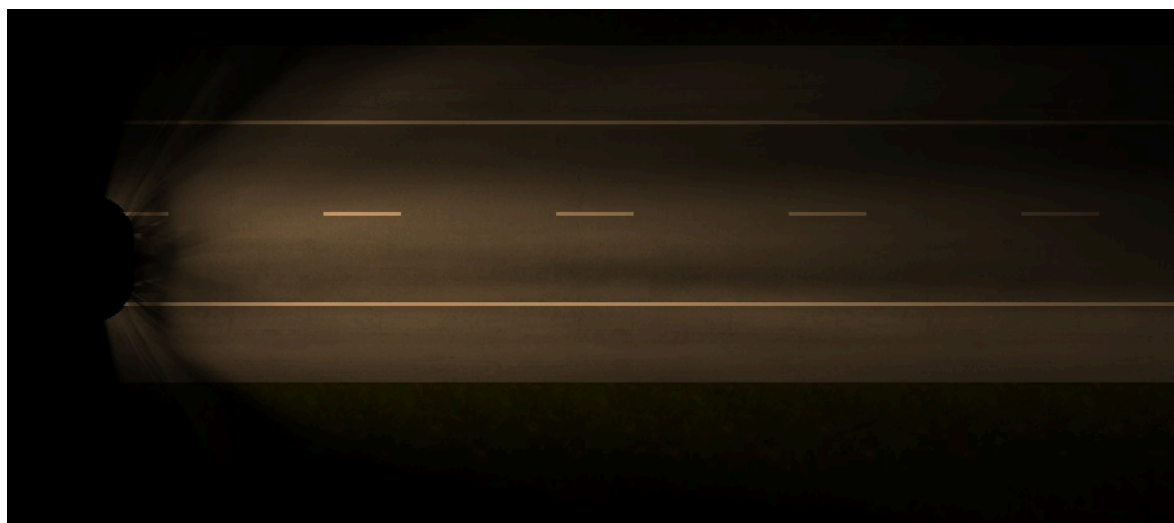
Výkresy:

- 7 - KOS418_01: Sestavný výkres - Zástavba reflektoru do tělesa světlometu
- 8 - KOS418_02: Výkres dílu - REFLEKTOR LB/HB
- 9 - KOS418_03: Výkres dílu - BRACKET

Příloha 1



Příloha 2

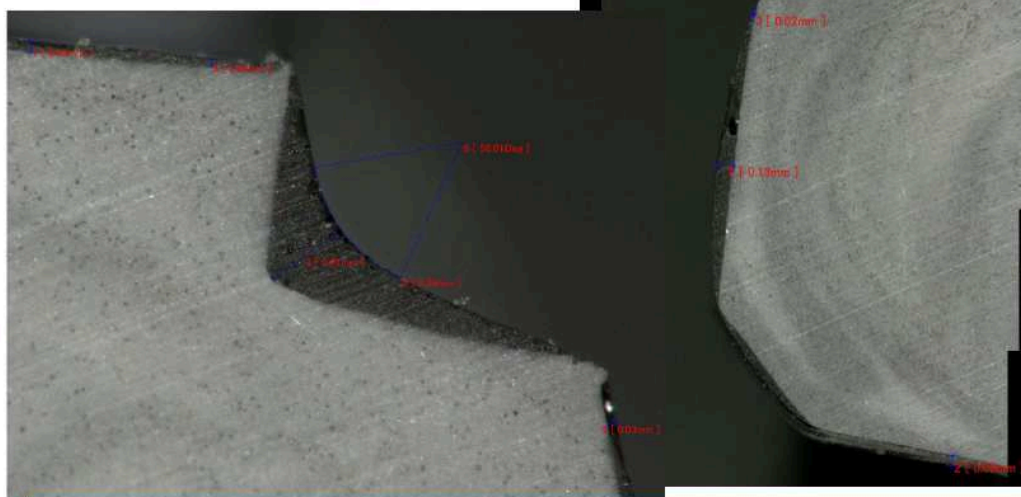


Příloha 3

LB Bulb Locating Nib 1 (12 o'clock)



Max Thickness at Center	130 μm
Outboard Edge (Low)	20 μm
Step in Pocket	210 μm



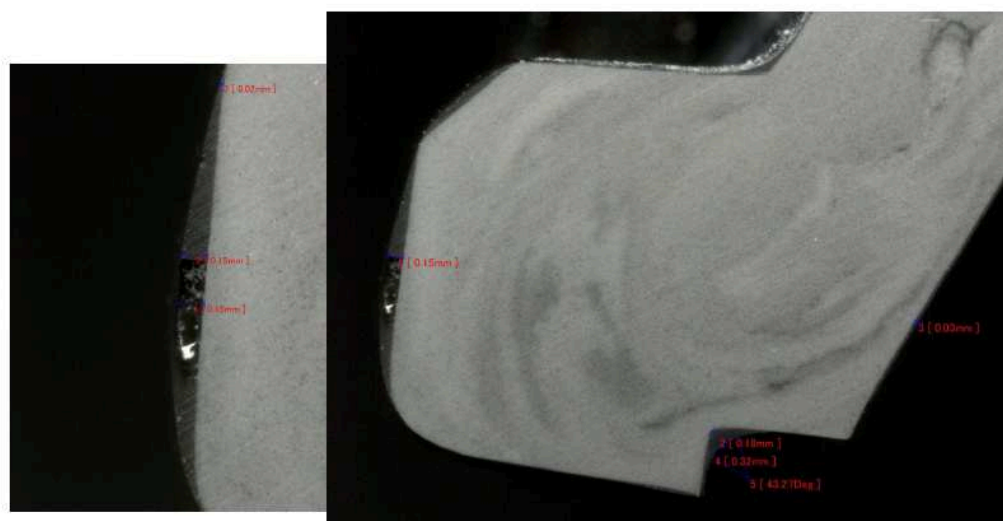
Page 5

Příloha 4

Low Beam Bulb Locating Nib 2 (5 o'clock)

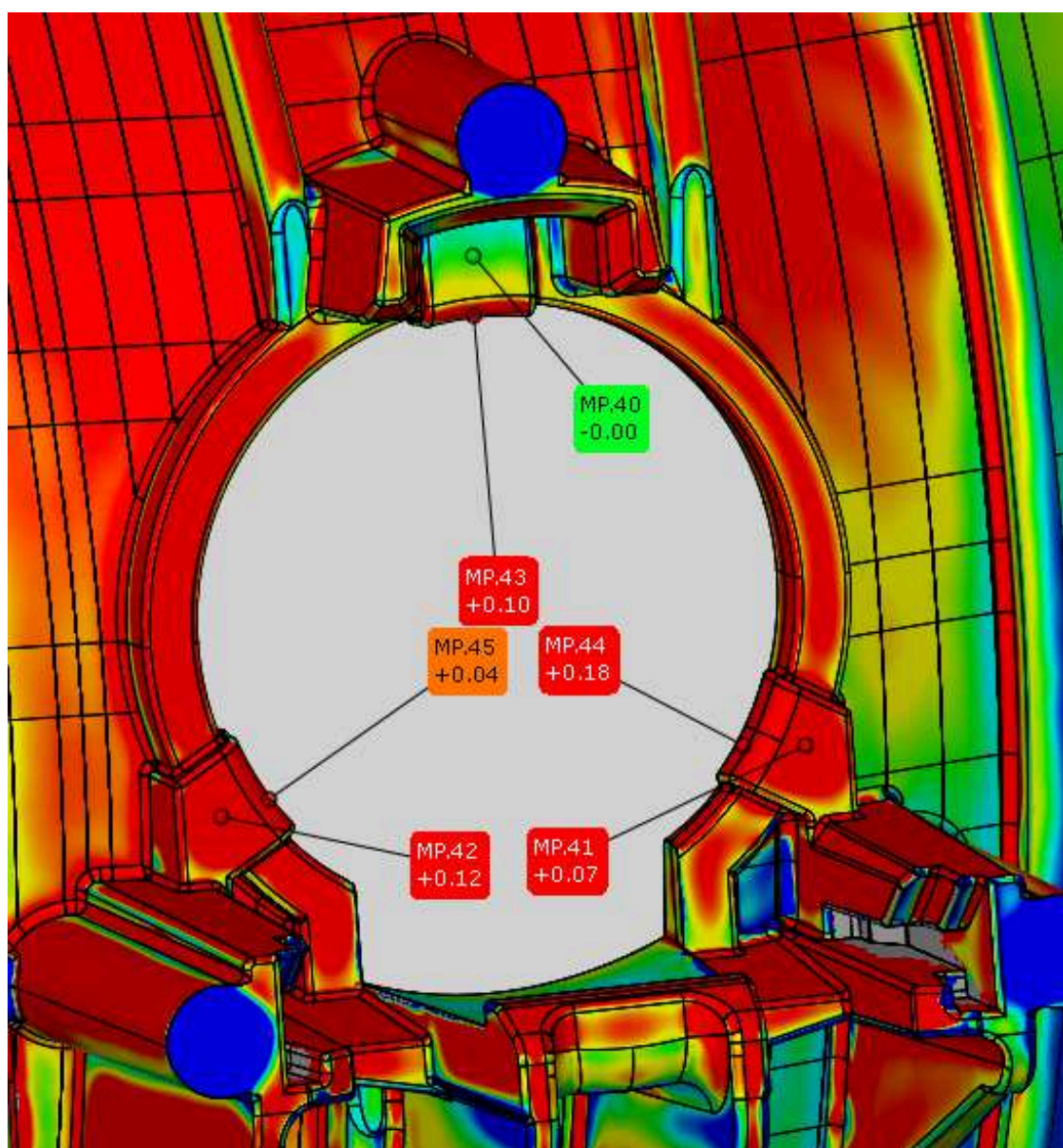


Max Thickness at Center	150 μm
Outboard Edge (Low)	20 μm
Step in Pocket	180 μm



Page 8

Příloha 5



Příloha 6

